TEXTO PARA DISCUSSÃO

2541

# OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL

Stefano Giacomazzi Dantas

ipea

2541
TEXTO PARA DISCUSSÃO
Brasília, fevereiro de 2020

# OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL

Stefano Giacomazzi Dantas[1]

1. Ex-pesquisador do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura (Diset) e do projeto Mudanças Climáticas – apoio ao Ponto Focal Técnico do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima na Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (Dirur) do Ipea. *E-mail*: <sgdantas1@gmail.com>.

**Governo Federal**

**Ministério da Economia**
**Ministro** Paulo Guedes

ipea **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**

Fundação pública vinculada ao Ministério da Economia, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

**Presidente**
Carlos von Doellinger

**Diretor de Desenvolvimento Institucional**
Manoel Rodrigues Junior

**Diretora de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia**
Flávia de Holanda Schmidt

**Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas**
José Ronaldo de Castro Souza Júnior

**Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais**
Nilo Luiz Saccaro Júnior

**Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura**
André Tortato Rauen

**Diretora de Estudos e Políticas Sociais**
Lenita Maria Turchi

**Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais**
Ivan Tiago Machado Oliveira

**Assessora-chefe de Imprensa e Comunicação**
Mylena Fiori

Ouvidoria: http://www.ipea.gov.br/ouvidoria
URL: http://www.ipea.gov.br

# Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2020

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1.Brasil. 2.Aspectos Econômicos. 3.Aspectos Sociais. I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos). Acesse: http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério da Economia.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

JEL: Q42.

# SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO ..... 7

2 O SEMIÁRIDO BRASILEIRO E O CENÁRIO ATUAL DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL ..... 8

3 POTENCIAL TÉCNICO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO ..... 16

4 CADEIA DE VALOR, ENTRAVES E OPORTUNIDADES PARA DIFUSÃO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO ..... 23

5 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA DIFUSÃO DA GERAÇÃO SOLAR FV NO SEMIÁRIDO ..... 39

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 47

REFERÊNCIAS ..... 49

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR ..... 52

## SINOPSE

O semiárido brasileiro é muitas vezes representado como uma região de clima seco e de indicadores socioeconômicos ruins. Além disso, a região deve sofrer ainda mais com a escassez de água no futuro devido às mudanças climáticas que vêm ocorrendo em ritmo acelerado. Essa diminuição de disponibilidade dos recursos hídricos nos últimos anos provocou diversas dificuldades no setor elétrico brasileiro, devido à sua dependência hídrica para geração de energia elétrica. Uma das alternativas para diversificar e deixar mais robusta a matriz energética brasileira é a utilização da energia solar. Além de ter uma posição privilegiada para a captação de energia solar, o semiárido possui extensões territoriais que podem servir para a instalação de painéis fotovoltaicos. Com isso em mente, este texto discute o potencial técnico de geração fotovoltaica no semiárido, os atuais desafios e oportunidades desse tipo de geração no Brasil, além de apresentar discussões sobre o desenvolvimento de políticas públicas baseadas na utilização de sistemas fotovoltaicos, visando ao desenvolvimento econômico e social a partir do uso da incidência solar abundante na região.

**Palavras-chave**: semiárido; energia solar; energia fotovoltaica; mudanças climáticas; políticas públicas; potencial técnico de geração fotovoltaica.

## ABSTRACT

The Brazilian semi arid is often represented as a dry-climate region with poor socio-economic indicators. Moreover, this region is likely to suffer from the water shortage in the future as a result of climate changes that the world is facing. The reduction of water supplies has recently caused problems for the electrical sector in Brazil due to its dependency on hydropower. One possible alternative to increase its robustness is by using solar energy. The potencial of the semiarid region in generating solar energy is two-fold: it figures among one of the regions with the highest solar irradiation in Brazil and there are plenty of available territories for the installation of solar systems. With this in mind, this work presents the technical potential of photovoltaic energy in the semiarid, along with discussions of its challenges, opportunities and public policies that aim to develop the region.

**Keywords**: semiarid; solar energy; photovoltaic energy; climate changes; public policies; technical potential of photovoltaic energy.

# 1 INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas estão presentes em diversas localizações do planeta e se caracterizam, de modo geral, pelo clima seco e pela deficiência hídrica, com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas. No Brasil, o semiárido compreende mais de 1 mil municípios, muitos dos quais apresentam péssimos indicadores econômicos e sociais – que estão entre os piores do país – e sofrem de sérios problemas de desigualdade na distribuição de terras.

O semiárido também figura entre as regiões de maior incidência solar do Brasil, além de possuir um regime energético bastante homogêneo ao longo dos ciclos sazonais. Essas características o tornam um lugar ideal para instalação de sistemas fotovoltaicos – FV (Simioni, 2017). Entretanto, o desenvolvimento desse mercado no país levanta algumas questões complexas, como a intermitência da produção de energia, a complexidade do gerenciamento do Sistema Interligado Nacional (SIN), entre outras.

No Brasil, a prática comum é o desenvolvimento de projetos (o país possui *know-how* e mão de obra qualificada) e a importação de equipamentos, geralmente de países asiáticos.

Apesar de a geração fotovoltaica não possuir participação expressiva na matriz elétrica nacional – cerca de 176 MW de potência centralizada instalada, totalizando 0,1% da potência total (Aneel, 2018) –, esta fonte vem crescendo de forma acentuada nos últimos anos, impulsionada por algumas regulações específicas e incentivos (EPE, 2017). Mesmo assim, o sistema de *net metering* adotado no Brasil não oferece a mesma atratividade proporcionada por outros mecanismos adotados nos países líderes em produção de energia fotovoltaica. Desse modo, a inserção dessa tecnologia depende da sua capacidade própria de se viabilizar economicamente, acarretando um prazo maior para a popularização da fonte.

O semiárido brasileiro é caracterizado por duas condições climáticas antagônicas: a escassez de água – que irá se acentuar no futuro –, e a abundância de irradiação solar – que também deve sofrer incremento (Ventura e Andrade, 2013). Considerando-se ainda o cenário futuro para a região, o qual prevê uma intensificação da crise hídrica e consequente diminuição da disponibilidade das Usinas Hidrelétricas (Huback *et al.*, 2016), a energia fotovoltaica surge como uma alternativa interessante em termos de segurança energética.

Dessa forma, abre-se espaço para o desenvolvimento de políticas públicas baseadas na utilização de sistemas fotovoltaicos, visando ao desenvolvimento econômico e social a partir do uso da incidência solar abundante na região. Ao mesmo tempo, essas políticas poderão colaborar para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa (GEE) e de adaptação aos efeitos adversos da mudança do clima.

Este trabalho aborda alguns aspectos relevantes no que diz respeito à energia fotovoltaica e suas consequências, especialmente para a região do semiárido brasileiro. Em especial, destacam-se no texto:

- o panorama da geração solar fotovoltaica no Brasil;
- o potencial técnico de geração fotovoltaica no semiárido;
- a cadeia de valor dos sistemas fotovoltaicos no Brasil;
- os impactos da difusão da energia fotovoltaica; e
- políticas públicas para a difusão da energia fotovoltaica no Brasil.

## 2 O SEMIÁRIDO BRASILEIRO E O CENÁRIO ATUAL DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

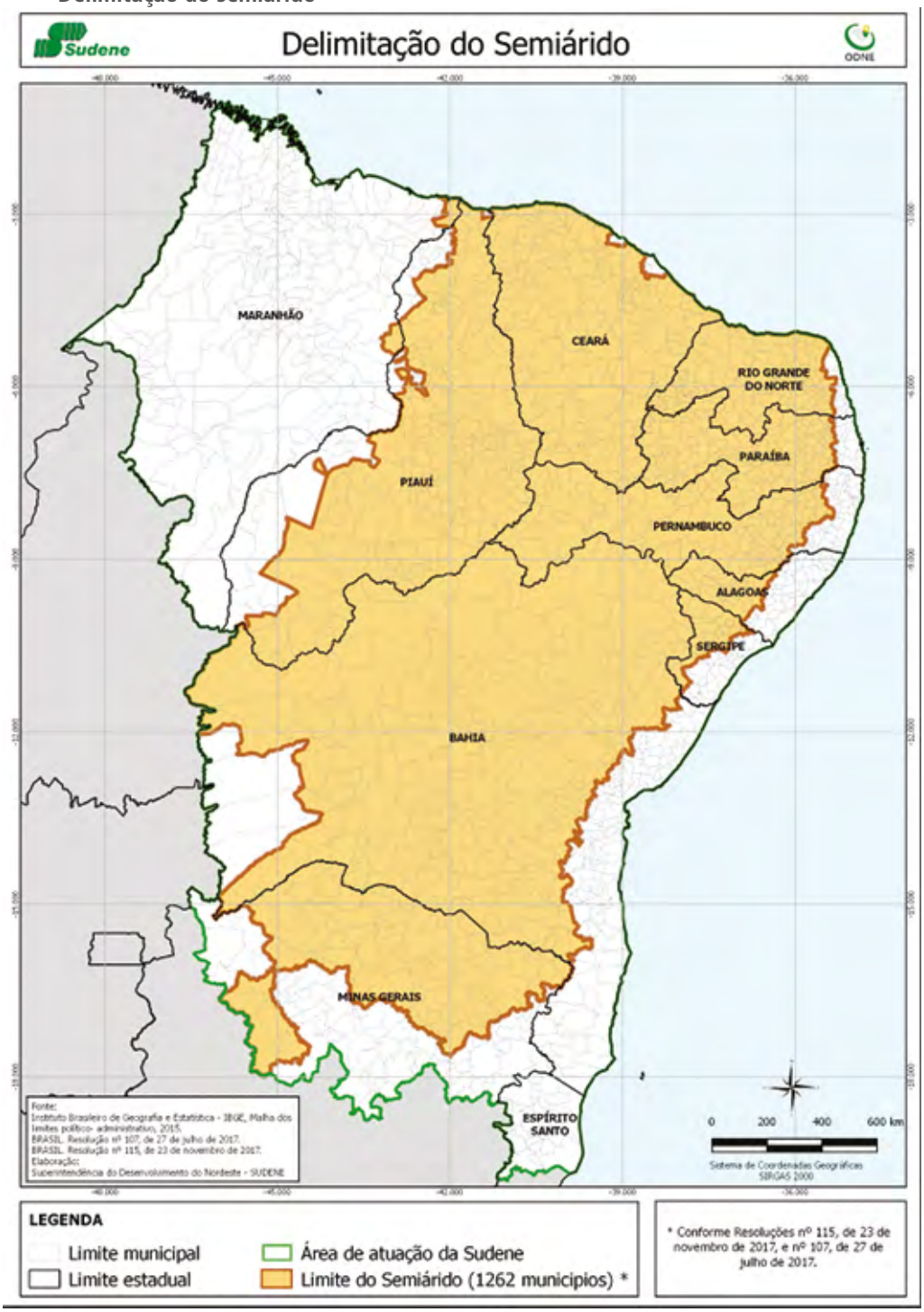
As regiões semiáridas estão localizadas em diversas localizações do planeta, sendo caracterizadas, de modo geral, pelo clima seco e pela deficiência hídrica, com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas. Os períodos de seca prolongados anuais elevam a temperatura local, caracterizando a aridez sazonal. Nesta seção, são apresentadas as características do semiárido brasileiro e o estado atual da energia fotovoltaica no país.

A região do semiárido brasileiro foi definida inicialmente em 1989 e atualizada em 2005. Para a nova delimitação do semiárido, foram considerados três critérios técnicos, segundo (MMA, 2005):

- precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm;
- índice de aridez de até 0,5; e
- risco de seca maior que 60%.

O semiárido abrange 1.262 municípios com uma área de 969.589,4 km², correspondente a quase 90% da região Nordeste (nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia), além da região setentrional de Minas Gerais, conforme ilustrado pelo mapa 1.

MAPA 1
**Delimitação do semiárido**




Fonte: Sudene (2017).
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Mais de 26 milhões de brasileiros vivem na região, segundo informação divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo aproximadamente 65% na área urbana e cerca de 35% no espaço rural (IBGE, 2011).

O semiárido brasileiro, assim como quase toda a região Nordeste, apresenta os piores indicadores econômicos e sociais do país. Em relação às atividades econômicas, estas ainda sofrem, como consequência da estrutura agrária regional, com sérios problemas de concentração e desigualdade na distribuição de terras. Cerca de 1,5 milhão de famílias ocupam apenas 4,2% das terras agricultáveis no semiárido. Em contrapartida, 38% das terras estão concentradas em latifúndios com mais de 1 mil hectares (ASA, 2017).

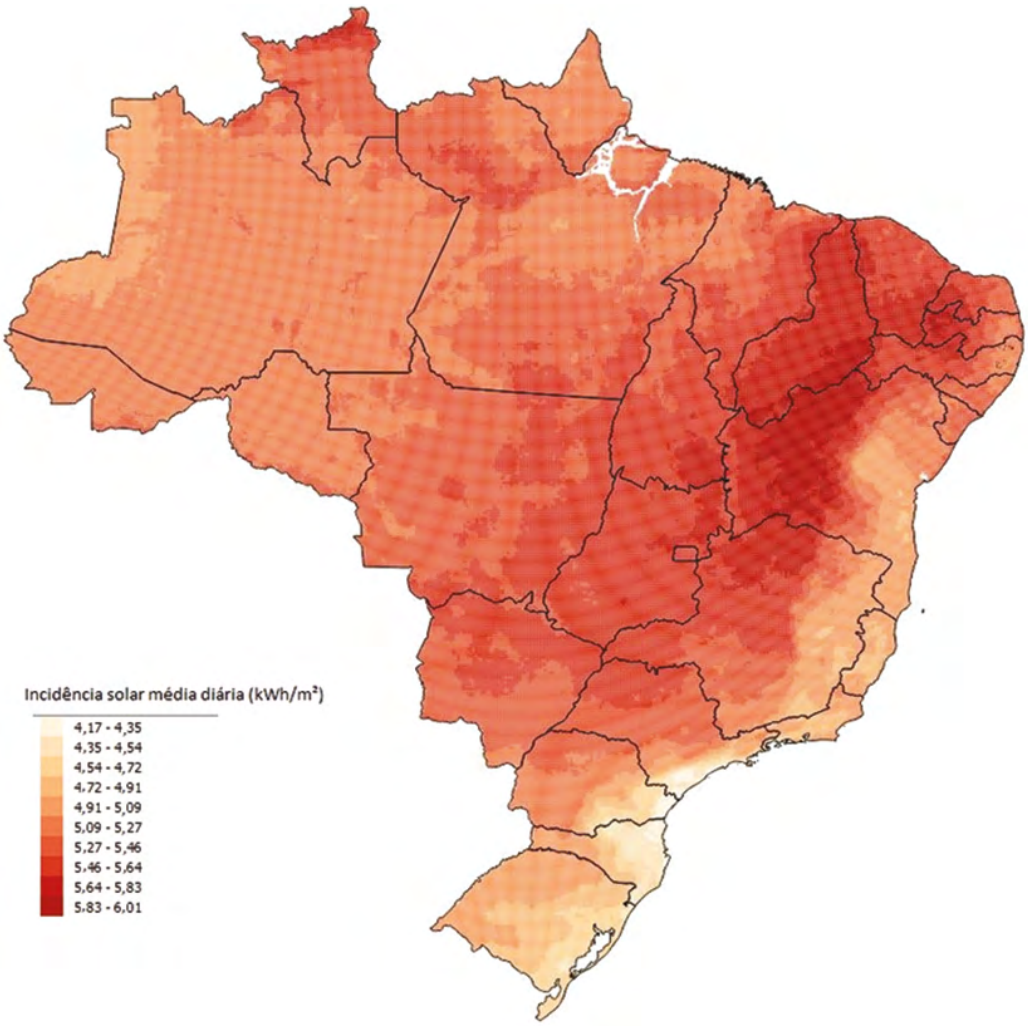
Como resultado, as propriedades familiares ainda são predominantes em número, geralmente com baixa eficiência de produção, contribuindo para uma crescente degradação dos recursos naturais (Ferreira *et al.*, 2016). Além disso, a irregularidade das chuvas e a baixa fertilidade dos solos limitam a produção agrícola.

Tudo isto, somado a uma condição de apoio em termos de crédito e de assistência técnica ainda precária na maior parte do semiárido, resultam num baixo desempenho da agropecuária da região. Existem algumas exceções, como Petrolina, município localizado no estado de Pernambuco, que se destaca por sua agricultura irrigada. A consequência final é uma oferta limitada e irregular de produtos com pouca inserção no mercado, que se deve ao baixo padrão que caracteriza a maioria das pequenas explorações agrícolas da região (Buaiain e Garcia, 2013).

As contradições e injustiças sociais que permeiam a região podem ser percebidas inclusive no acesso à renda. No semiárido, mais de 1,5 milhão de famílias dependem do benefício do Programa Bolsa Família – PBF (MDS, 2018).

Além dos baixos índices pluviométricos, a região também apresenta forte irradiação solar, como pode ser observado na figura 1.

FIGURA 1
**Incidência solar média diária no Brasil**




Fonte: CPTEC e INPE (2016).
Elaboração do autor.
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Os altos níveis de radiação solar tornam a vida na seca ainda mais difícil para a população que ali habita. Entretanto, pode-se tirar proveito dessa condição por meio da utilização da energia solar.

A energia proveniente da luz e do calor do Sol é a mais abundante de todos os recursos energéticos. A Terra recebe cerca de 174 PW de radiação solar, valor muito superior quando comparado às outras fontes de energia e ao consumo humano (Philibert, 2005).

O semiárido possui uma posição privilegiada para a captação de energia solar, uma vez que se localiza em latitudes próximas ao Equador, região geográfica da Terra que recebe maiores quantidades de radiação solar. Além disso, o regime energético solar é mais homogêneo ao longo dos ciclos sazonais, visto que essa é uma região distribuída em zonas geográficas de baixa latitude (Silva, 2006).

Atualmente, existem duas formas de gerar energia elétrica a partir dos raios solares, conhecidas como energia fotovoltaica e heliotérmica. A energia heliotérmica utiliza espelhos e lentes para concentrar os raios solares em um ponto específico, aquecendo uma solução que gera vapor e aciona uma turbina que é utilizada para gerar eletricidade. Por sua vez, a energia fotovoltaica consiste na geração de energia elétrica por meio de materiais semicondutores que apresentam o efeito fotovoltaico. Esse fenômeno químico-físico pode ser definido como a formação de tensão elétrica ou corrente em um material que é exposto à luz.

Apesar do enorme potencial de geração fotovoltaica no Brasil, principalmente na região do semiárido, a quantidade de energia produzida dessa forma ainda não é significativa. O país conta com cerca de 176 MW de potência centralizada instalada, totalizando 0,1% da potência total (Aneel, 2018). Esse valor é bem inferior ao dos países líderes do *ranking* de produção, como Estados Unidos, China e Alemanha (SPE, 2018).

A matriz elétrica brasileira atual tem as usinas hidrelétricas como principal fonte, sendo estas responsáveis por mais de 68% da geração de energia elétrica no país (EPE, 2017). A diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos decorrente das mudanças climáticas nos últimos anos provocou diversas dificuldades no setor elétrico do Brasil. A dependência hídrica é evidente e a tendência é o agravamento desses efeitos, como eventos de seca nas regiões Norte e Nordeste (Huback *et al.*, 2016).

Desse modo, uma matriz energética extremamente dependente do potencial hidrelétrico pode não ser mais capaz de atender à demanda por energia no futuro. Se essas mudanças não forem incluídas no planejamento elétrico futuro, pode-se esperar uma possível crise energética, com aumento de tarifas, escassez e apagões. O Plano Decenal de Expansão (PDE) de 2028 indica que devem ser adicionadas 10 mil MW de energia eólica e 5 mil MW de energia fotovoltaica à potência instalada do SIN.

Em decorrência do baixo nível dos reservatórios das hidrelétricas, a energia necessária para suprir as necessidades da sociedade é gerada majoritariamente a partir de fontes não renováveis, como combustíveis fósseis. Esses foram responsáveis por 19,6% de toda a eletricidade produzida em 2016 (EPE, 2017). Além da emissão de poluentes provenientes dessas fontes, há um aumento na tarifa de energia elétrica, uma vez que o consumo de combustíveis fósseis – em essência óleo diesel, carvão e gás natural –, implica um custo de geração maior, traduzido, de acordo com a legislação do setor, em bandeiras tarifárias de classe superior àquelas utilizadas quando a geração de eletricidade se dá, majoritariamente, pelas usinas hidrelétricas (Aneel, 2018).

Não há emissão de $CO_2$ e outros gases, sequer de poluentes líquidos ou sólidos durante a geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos. Também são baixos os volumes de emissão nas etapas de fabricação dos equipamentos utilizados no setor fotovoltaico. A quantidade de energia gerada ao longo da vida útil dos sistemas fotovoltaicos é de oito a dezessete vezes maior que a energia consumida em sua fabricação. No final do ciclo de vida de um sistema fotovoltaico, mais de 85% de seus componentes podem ser reciclados e reaproveitados, de forma que os impactos ambientais, já bastante reduzidos, tendem a se tornar ainda menores no longo prazo (WWF, 2015).

Tendo isso em vista, a geração distribuída pode ter impacto significativo na diversificação da matriz energética brasileira. A geração distribuída pode ser definida como uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou situada no próprio consumidor. Em 2012, essa modalidade foi regulada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) por meio da Resolução Normativa (RN) nº 482/2012. Isso se deu por meio da definição do sistema de compensação, conhecido internacionalmente como *net metering*, um arranjo no qual a energia ativa injetada na rede por uma unidade distribuidora é cedida à distribuidora e posteriormente compensada com o consumo de energia. Por sua vez, a geração centralizada é caracterizada por grandes centrais de produção de energia elétrica, que no Brasil, majoritariamente, são usinas hidrelétricas ou termoelétricas com grandes capacidades instaladas.

O esquema de *net metering* incentiva o desenvolvimento de sistemas FV em outros países da América Latina, com destaque para o México, que pretende ser um dos dez maiores produtores de energia FV até 2022 (McCall, 2018). Além do México, Costa Rica, Panamá e República Dominicana são outros países nos quais a energia solar vem sendo explorada.

Ao fim do mês, se a geração for maior que o consumo, o saldo restante, chamado crédito de energia, pode ser usado para abater o consumo em algum mês subsequente, restando ao consumidor somente o pagamento da tarifa básica (30 kWh para instalações monofásicas, 50 kWh para bifásicas e 100 kWh para trifásicas). Se o consumo for maior que a geração, o consumidor paga a diferença entre a energia total consumida e a energia gerada.

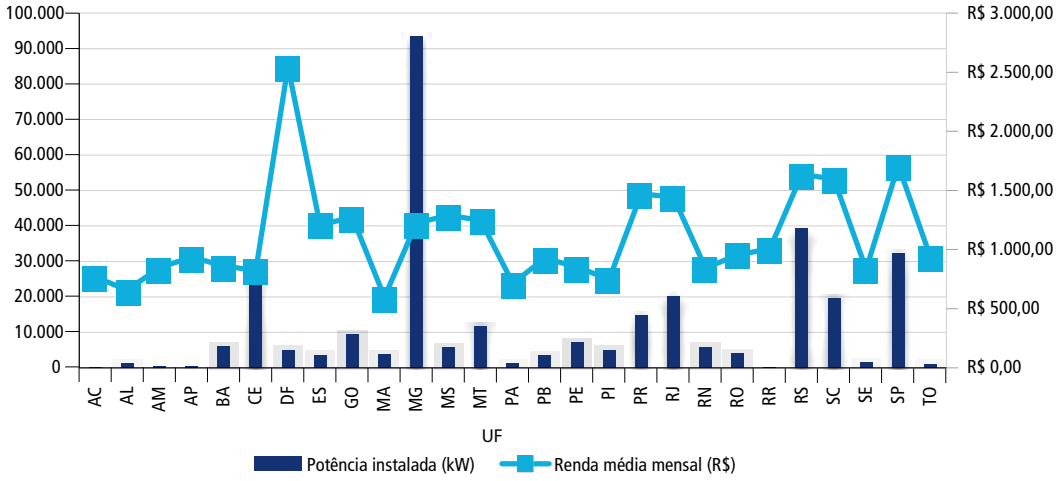
Em 2015, a Aneel publicou a RN nº 687/2015, que acrescentou alguns benefícios aos microgeradores. Entre eles, a possibilidade de geração distribuída conjunta, isto é, a energia gerada pode ser repartida entre várias residências de acordo com seus interesses, desde que elas façam parte da mesma área de concessão. Isso permite a instalação de sistemas fotovoltaicos em condomínios, e a energia produzida pode ser dividida entre os condôminos. Além disso, a validade dos créditos de energia passou de 36 para 60 meses, a potência máxima de geração por unidade aumentou de 1 MW para 5 MW e o processo de adesão para conectar a geração distribuída à rede de distribuição foi simplificado. Essa RN parece ter contribuído bastante para o crescimento no número de instalações de sistemas FV nos últimos dois anos (Aneel, 2018).

A geração distribuída, mais especificamente por meio da energia fotovoltaica, proporciona uma série de benefícios em diversas áreas na sociedade (Barbosa e Azevedo, 2013). Entre essas vantagens, destacam-se:

- geração de energia limpa, renovável e sustentável;
- contribuição para as metas de redução de emissões de GEE no Brasil, expressas em sua Contribuição Nacionalmente Determinada – NDC (MMA, 2015);
- redução das perdas de transmissão e dos custos, além do adiamento de investimentos na expansão da rede de transmissão; e
- diversificação da matriz energética e diminuição da dependência da geração centralizada despachada.

De acordo com os dados da Aneel, o estado de Minas Gerais lidera o *ranking* de potência fotovoltaica instalada no país, seguido por Rio Grande do Sul e São Paulo, conforme mostrado no gráfico 1.

GRÁFICO 1
**Potência instalada por UF e renda média mensal**




Fonte: Aneel (2018) e IBGE (2018).
Elaboração do autor.
Obs.: UF – Unidade da Federação.

Apesar de o semiárido ser um bioma com elevado índice de radiação solar, as UFs nele presentes têm participação muito discreta na potência fotovoltaica instalada total no Brasil. Com exceção do Ceará, todos os outros estados do Nordeste figuram entre os últimos em potência instalada.

Isso pode ser compreendido observando-se a relação entre a renda média da população do estado e a potência instalada. Em geral, os estados de maior renda apresentam as maiores potências instaladas.

Além da renda, outro fator que influencia o grau de penetração da energia fotovoltaica em determinada região é o valor da tarifa de energia elétrica cobrada pela distribuidora responsável pelo abastecimento de energia. Minas Gerais, por exemplo, figura entre os estados com a tarifa de energia mais cara do país (Aneel, 2018). Isso incentiva os consumidores a instalarem sistemas fotovoltaicos, visto que esse investimento apresentará um prazo de retorno mais curto.

De modo geral, a energia fotovoltaica vem ganhando cada vez mais força no Brasil, podendo se tornar uma das alternativas mais interessantes para a adaptação da matriz energética brasileira frente às mudanças climáticas esperadas no futuro.

# 3 POTENCIAL TÉCNICO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO

Ainda há bastante espaço para o desenvolvimento da energia fotovoltaica no Brasil, em especial na região do semiárido, cujas condições são ideais para esse tipo de geração de energia. Nesse contexto, esta seção tem como objetivo apresentar uma metodologia que permita estimar o potencial de geração distribuída e centralizada fotovoltaica no semiárido.

Essa metodologia é dividida em duas partes distintas, as quais contêm cálculos referentes ao potencial no meio urbano e no meio rural. A primeira diz respeito ao potencial de geração nas áreas urbanas, onde os painéis fotovoltaicos serão instalados em telhados de residências. Já em relação ao potencial rural, serão computadas placas a serem instaladas no nível do solo, em áreas improdutivas no ponto de vista agrícola.

É importante ressaltar que não foram consideradas as áreas nos telhados de estabelecimentos comerciais, públicos e de serviços. Essa abordagem já foi feita em outros trabalhos (Mitidieri, 2017), mas é um método que depende de dados mais específicos que não estão disponíveis para todos os municípios do semiárido brasileiro. Dessa forma, optou-se por trabalhar somente com as áreas de telhados residenciais.

## 3.1 Área urbana

A metodologia para áreas urbanas pode ser dividida em quatro etapas: *i*) obter os dados de irradiação solar; *ii*) estimar a eficiência de conversão do sistema fotovoltaico; *iii*) dimensionar a área disponível total de telhados residenciais; e *iv*) determinar a área efetiva para instalação de painéis solares.

## 3.2 Irradiação solar

A energia solar total incidente sobre a superfície terrestre depende de vários aspectos. A radiação disponível varia em relação à latitude, à hora do dia, à estação do ano etc.

Existem vários estudos sobre a irradiação solar no Brasil. Aqui, usou-se como base o Atlas Brasileiro de Energia Solar desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe (CPTEC e Inpe, 2005). Foram gerados dados de irradiação solar global horizontal, difusa e no plano inclinado para todo o país.

Neste trabalho, utilizou-se a média anual de irradiação solar no plano inclinado dos municípios do semiárido para estimativa do potencial de geração da região. A lista de todos os municípios do semiárido foi obtida por meio dos dados do IBGE. O valor médio resultante foi de 5,47 kWh/m².

### 3.3 Eficiência de conversão

Nem toda energia incidente nas placas solares é convertida em energia elétrica. Portanto, para realização do cálculo do potencial técnico, alguns fatores de rendimento devem ser considerados. O primeiro aspecto a ser considerado é a eficiência de conversão das placas fotovoltaicas, Barbose e Darghouth (2015) indicaram uma eficiência de cerca de 16%, enquanto Fraunhofer (2016) aponta uma média de 17% para os painéis comerciais de silício. Assim, considerou-se um fator de 16,5% para o cálculo do potencial.

O outro fator que incorpora as imperfeições da conversão é conhecido como razão de desempenho (do inglês *performance ratio* – PR). Essa medida da eficiência é definida como a razão entre a quantidade de energia utilizável e a energia convertida pelo sistema fotovoltaico (SMA, 2011). O PR é uma medida independente da radiação incidente, e, por consequência, do lugar onde o sistema está instalado e da orientação de seus painéis. Esse fator pode ser influenciado por diversos fatores, como apontando por Tolmasquim *et al*. (2016), entre os quais se destacam:

- temperatura de operação do sistema fotovoltaico (a temperatura é o aspecto de maior influência na eficiência do sistema);
- dissipação da radiação;
- sujeiras nos painéis;
- perdas ôhmicas;
- eficiência dos inversores de frequência;
- descasamento (*mismatch*) entre módulos de mesmo modelo (diferenças entre as suas potências máximas de saída); e
- sombreamento.

Atualmente, os sistemas instalados tendem a ter um PR entre 0,6 e 0,9. Em Tolmasquim *et al*. (2016), uma razão de desempenho de 0,75 é utilizada para sistemas no Brasil. Como a temperatura é o aspecto que mais impacta a eficiência do sistema, e o semiárido apresenta elevados valores de temperatura, utilizou-se uma razão de desempenho um pouco inferior, de 0,70.

Finalmente, a eficiência de conversão (EC) é dada por:

$$EC = \eta_{painel} * PR \quad (1)$$

Em que:

$EC$ = eficiência de conversão;

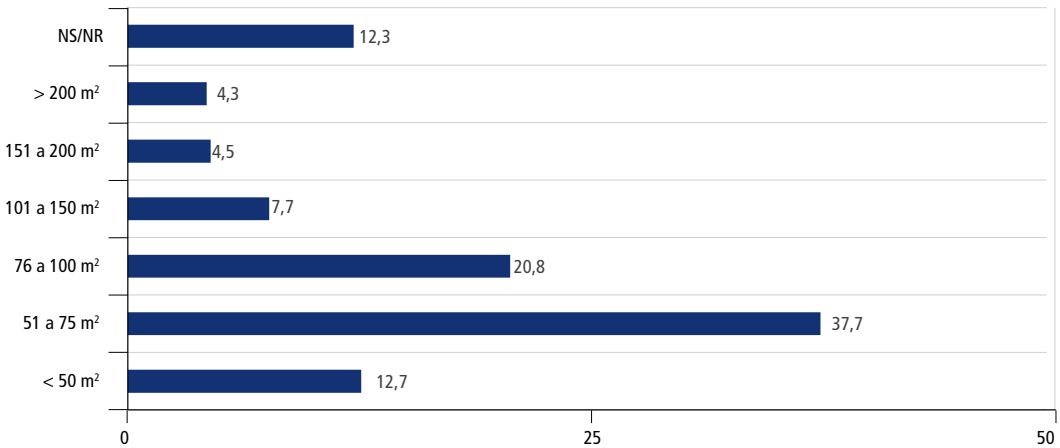
$\eta_{painel}$ = eficiência do painel;

$PR$ = razão de desempenho.

### 3.4 Área total de telhados residenciais nas áreas urbanas

Para estimar a área total dos telhados residenciais de interesse, utilizou-se o estudo sobre o mercado de eficiência energética no Brasil, realizado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). Esse estudo fornece, além de outras informações, a distribuição de frequência das áreas construídas das residências na região Nordeste. Esses dados são apresentados no gráfico 2.

GRÁFICO 2
**Proporção de domicílios por área**
(Em %)




Fonte: Procel (2005).

A área total é calculada utilizando-se a mediana de cada uma das categorias de área construída multiplicada pela proporção dessa categoria. Optou-se pela utilização da mediana em vez da média pois esta sofre menos variações com a presença de *outliers*. Dessa forma, tem-se:

$$A_{res} = \sum_{i=0}^{n} med_i * P_i \quad (2)$$

Em que:

$A_{res}$ = área de telhado por residência, em m²;
$n$ = número de categorias;
$med_i$ = mediana da categoria $i$, em m²;
$P_i$ = proporção da categoria $i$.

Com isso, o valor de área de telhado por residência encontrado foi de 66,7 m². É importante ressaltar que esse valor é uma estimativa, por falta de dados precisos sobre a real área disponível de telhados. Outros trabalhos, como Ghisi (2006) e Lange (2012), utilizaram como área o valor de 85 m² e 80 m², respectivamente.

O número de residências foi calculado utilizando-se o estudo do Procel como base, e o número médio de habitantes por domicílio obtido foi de 3,54. Considerando-se as 16 milhões de pessoas que residem na região urbana do semiárido (IBGE, 2017), o número total de domicílios é de 4,5 milhões.

A área total dos telhados é dada por:

$$A_{total} = A_{res} * N_{res} \quad (3)$$

Em que:

$A_{total}$ = área total de telhados, em m²;
$A_{res}$ = área por residência, em m²;
$N_{res}$ = número de residências.

### 3.5 Área efetiva

Nem toda área do telhado possui disponibilidade para a instalação de painéis solares. Diversos fatores podem ter influência nesse aspecto, como orientação do telhado, sombreamento causado por outras construções e outras ocupações presente nos telhados (caixas d'água, antenas de serviços de televisão, entre outros).

Dessa forma, define-se área efetiva urbana como:

$$A_{urb} = A_{total} * \eta_{somb} * \eta_{ocup} \quad (4)$$

Em que:

$A_{urb}$ = área efetiva urbana total, em m²;

$A_{total}$ = área total de telhados, em m²;

$\eta_{somb}$ = coeficiente de aproveitamento considerando-se sombreamento;

$\eta_{ocup}$ = coeficiente de aproveitamento considerando-se outras ocupações.

Os valores adotados para os coeficientes de aproveitamento considerando-se sombreamento e outras ocupações foram 0,5 e 0,8, respectivamente. Esses dados foram baseados no estudo feito em Izquierdo, Rodrigues e Fueyo (2008).

Finalmente, o valor encontrado para a área efetiva foi de 120,59 km². Esse valor representa a estimativa de área disponível para a instalação de painéis fotovoltaicos na região urbana do semiárido.

### 3.6 Área rural

A disponibilidade de dados sobre área de telhados na área rural é escassa. Além disso, devido às condições socioeconômicas da região, muitas residências não possuem estrutura adequada para receber os painéis solares em seus telhados. Esses fatores, somados à existência de grandes áreas improdutivas no ponto de vista agrícola, tornam mais atrativa a instalação das placas fotovoltaicas no nível do solo. Desse modo, faz-se necessário encontrar uma área onde a instalação de painéis solares não prejudique a produtividade da Terra.

A desertificação é um problema que afeta as regiões de clima árido e semiárido em todo o planeta. Segundo Perez-Martin *et al.* (2013), as áreas susceptíveis a desertificação no Brasil podem chegar a mais de 1,3 milhão de km². Por sua vez as áreas degradadas pela desertificação de forma grave ou muito grave chegam a 200 mil km², sendo que a agricultura, em muitos desses locais, é inviável. Dessa forma, a instalação de painéis fotovoltaicos nessa região proporciona uma alternativa para o uso econômico no que diz respeito à utilização de sua área.

A área efetiva rural é dada por:

$$A_{rur} = A_{des} * \eta_{des} \quad (5)$$

Em que:

$A_{rur}$ = área efetiva rural total, em m²;

$A_{des}$ = área afetada severamente pela desertificação, em m²;

$\eta_{des}$ = coeficiente de aproveitamento da área desertificada.

Como o objetivo desta seção é criar uma estimativa para o potencial técnico da energia fotovoltaica no semiárido, propõe-se utilizar uma fração desse bioma como área disponível para a instalação de painéis solares. Assim, optou-se por assumir que 25% da área afetada gravemente pela desertificação pode ser coberta com painéis solares – a área efetiva da região rural do semiárido é de 50 mil km².

### 3.7 Potencial total de geração FV no semiárido

A partir das equações 1-5, pode-se estimar o potencial de produção de energia fotovoltaica por ano no semiárido, considerando-se tanto a área urbana quanto a área rural. Esse valor é dado por:

$$Pot_{total_i} = EC_i(A_{rur} + A_{urb})Rad * 365 \quad (6)$$

Em que:

$Pot_{total}$ = potencial de geração, em W;

$A_{rur}$ = área efetiva rural total, em m²;

$A_{urb}$ = área efetiva urbana total, em m²;

$Rad$ = radiação incidente sobre superfície inclinada, em kWh/m²/dia;

$EC_i$ = eficiência de conversão no ano $i$.

O potencial técnico total de geração do semiárido foi de 11.908 TWh no primeiro ano, sendo 28 TWh no meio urbano e o restante no meio rural. A diferença de geração entre o meio urbano e o rural deve-se à disponibilidade de espaço físico para a instalação das placas. A quantidade de energia que poderá ser gerada é suficiente para suprir quase metade do consumo mundial de energia elétrica (EIA, 2017) ou 25 vezes o consumo de energia do Brasil em 2016 (EPE, 2017).

Para os anos seguintes, é esperada uma redução na quantidade de energia gerada. Isso decorre do fato de haver degradação da eficiência dos painéis fotovoltaicos com o passar do tempo. Em geral, os fabricantes indicam uma vida útil de 25 anos para os painéis, garantindo cerca de 80% de eficiência nominal original ao fim do período. O estudo de Jordan e Kurtz (2012) levantou dados sobre a eficiência de sistemas fotovoltaicos e o resultado mediano encontrado foi uma redução de 0,5% ao ano.

O potencial técnico pode aparentar ser exagerado, porém, o estudo publicado pela Aneel (2014) mostra que somente o potencial fotovoltaico residencial é quase 2,5 vezes maior que o consumo anual de energia elétrica no país em 2014. Desse modo, fica claro que a área não é um fator limitante na inserção massiva de sistemas FV no Brasil.

Entretanto, o sistema de distribuição de energia atual não tem capacidade de suportar todo o potencial técnico de geração solar FV do semiárido. Segundo a simulação realizada pelos autores, são necessários cerca de 4 TWp instalados para gerar a potência calculada para o potencial técnico do semiárido, valor muito superior ao que a rede elétrica foi projetada para transmitir. Assim, o potencial da região é bem maior do que a quantidade de energia que pode ser instalada atualmente.

A capacidade de absorção da energia injetada na rede é um tema que vem ganhando força ultimamente com diversos estudos realizados. A dificuldade de estimar essa capacidade está na dependência de diversos fatores específicos da linha, como o tipo de conector, características geográficas, climáticas e a extensão dos cabos de transmissão. Além disso, os sistemas fotovoltaicos podem afetar a qualidade de energia da rede por meio de harmônicos e distúrbio na tensão. Por último, existem desafios econômicos de gestão de carga e energia pelo lado das distribuidoras e do planejamento integrado feito pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Desse modo, é difícil estimar a quantidade de energia que seria suportada pela rede sem nenhum estudo específico anterior.

Contudo, pode-se fazer uma estimativa considerando a situação atual com o consumo de energia na região do semiárido. Segundo os dados do ONS (2018), a curva de carga do Nordeste apresenta variação de até 2,2 GW no intervalo de 6h às 11h da manhã, mesmo intervalo no qual a energia solar tem seu período crescente de produção. Nesse caso, a introdução da geração fotovoltaica iria suavizar a curva de carga nesse horário.

Considerando-se a variação atual existente no sistema de distribuição e a proporção de habitantes do semiárido em relação à região Nordeste, a potência instalada suportada pela rede estimada é de 1 GWp. Vale ressaltar que essa é uma estimativa superficial e não considera fatores específicos da região. O ponto principal é notar que o potencial da região está muito distante do que a rede do sistema interligado nacional suporta atualmente.

# 4 CADEIA DE VALOR, ENTRAVES E OPORTUNIDADES PARA DIFUSÃO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NO SEMIÁRIDO

A seção anterior demonstrou a magnitude do potencial técnico de geração no semiárido. Entretanto, outras condicionantes merecem ser pontuadas no contexto de inserção fotovoltaica e serão abordadas nesta seção.

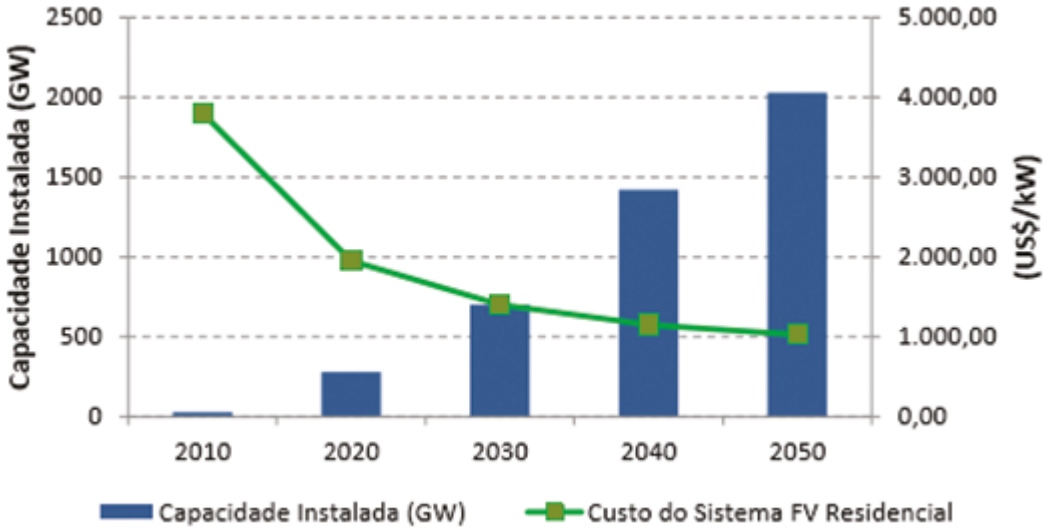
## 4.1 Oportunidades e entraves de crescimento da geração solar FV

A primeira perspectiva de oportunidades de difusão da geração solar FV no semiárido a ser considerada é a econômica. No cenário global, diversas mudanças caracterizaram os últimos anos da energia FV. Até então, esse tipo de tecnologia era considerado de elevado custo, baixa escalabilidade e desempenho limitado nos outros componentes do sistema (Bazilian, 2013).

Um estudo realizado em 2012 pela International Energy Agency (IEA) previa que a capacidade instalada em 2020 poderia chegar a 280 GW (IEA, 2012). Entretanto, dados recentes apresentados por SPE (2018) mostram que, ao final de 2017, já havia 306 GW instalados mundialmente. Dessa forma, a energia fotovoltaica apresentou, nos últimos anos, um ritmo de crescimento maior que o esperado.

O gráfico 3 ilustra as projeções feitas por IEA (2012) de crescimento da potência instalada e de redução dos custos de sistemas fotovoltaicos residenciais.

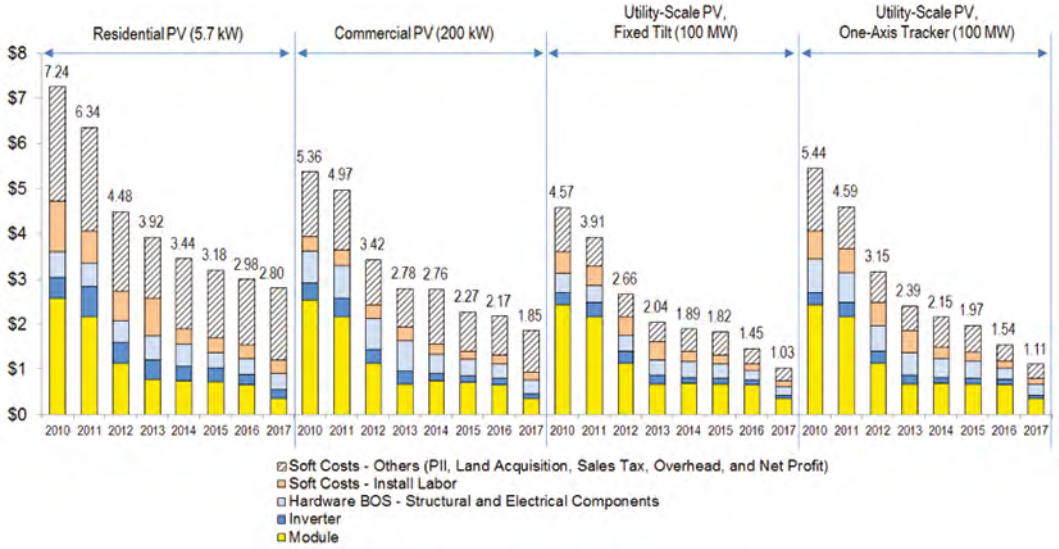
GRÁFICO 3
**Projeção do crescimento da energia fotovoltaica e seus custos**




Fonte: Aneel (2014).
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

A expansão da capacidade instalada é acompanhada da redução do custo do sistema FV, o que acelera ainda mais o crescimento desse mercado. O gráfico 4 apresenta a evolução dos custos de sistemas FV de diferentes faixas de potência instalada.

GRÁFICO 4
**Histórico dos custos de sistemas fotovoltaico ajustado à inflação (2010-2017)**
(Em US$/W)

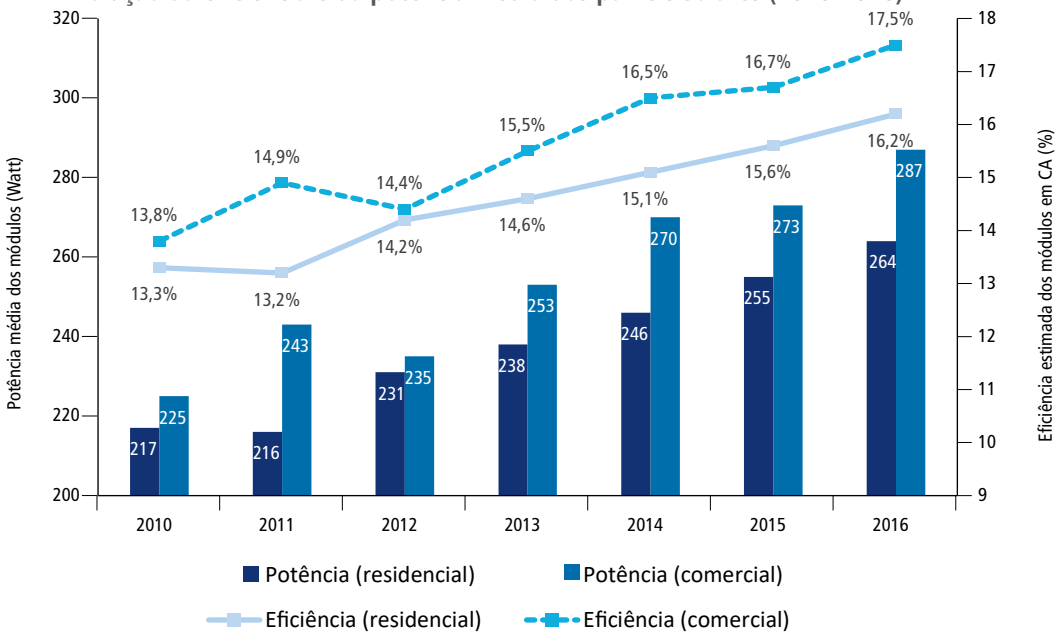



Fonte: Fu *et al.* (2017).
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Fica evidente a queda expressiva dos preços em todos os segmentos desse mercado e o ganho de escala, fatos que prejudicavam o crescimento da energia fotovoltaica alguns anos atrás. Segundo IEA (2012), a tendência de queda dos custos de instalação e equipamentos continuará por pelo menos mais duas décadas.

Outro aspecto que vem auxiliando o crescimento da energia fotovoltaica é o aumento da eficiência dos painéis solares, possibilitando uma maior geração de energia para a mesma área. O gráfico a seguir ilustra a evolução da eficiência dos módulos solares e da potência média dos painéis.

GRÁFICO 5
**Evolução da eficiência e da potência média dos painéis solares (2010-2016)**

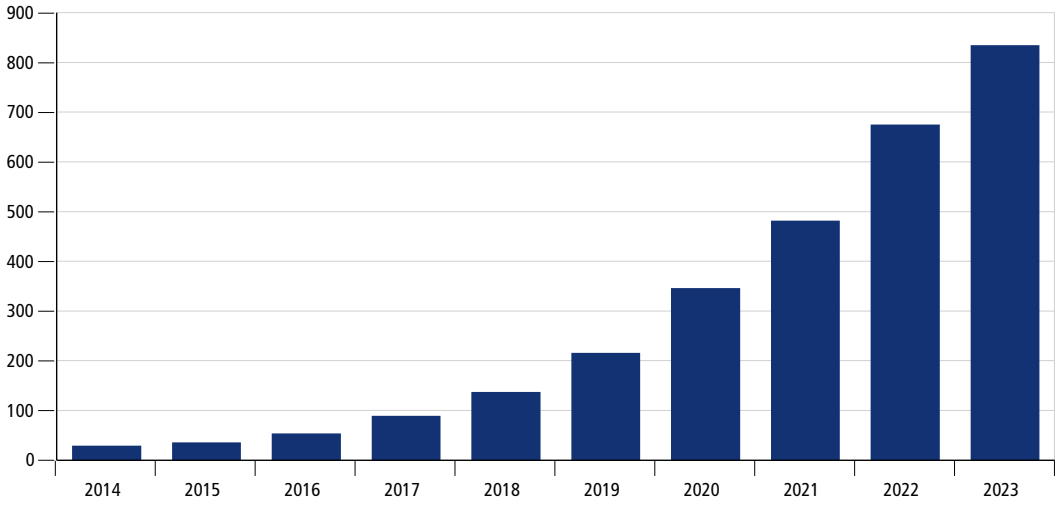



Fonte: Fu *et al.* (2017).

O estudo realizado pela EPE (2014) ilustra as perspectivas da evolução do mercado de sistemas fotovoltaicos distribuídos no Brasil. Foram utilizados os dados de consumo de energia para estimar quais residências teriam condições de realizar o investimento em energia fotovoltaica e um modelo de distribuição de adoção para calcular o percentual de adesão dessa tecnologia.

As expectativas mundiais de crescimento feitas por IEA (2012) foram superadas, e o mesmo ocorreu no cenário nacional. O gráfico 6 mostra as projeções realizadas por EPE (2014).

GRÁFICO 6
**Evolução de capacidade instalada acumulada de geradores fotovoltaicos distribuídos (2014-2023)**
(Em MWp)




Fonte: EPE (2014).

Segundo os dados de geração distribuída da Aneel, a potência instalada acumulada até junho de 2018 é de 292 MW, mais de duas vezes maior que o estimado pelo gráfico 6. Nesse ritmo de crescimento, o ano de 2018 pôde encerrar com uma potência instalada maior do que a prevista para 2020.

Fica evidente que a geração fotovoltaica distribuída tem enorme potencial e pode ter penetração relevante em nível nacional, visto a magnitude do potencial de geração que o país apresenta para o semiárido. Desse modo, é preciso avaliar os impactos da difusão desta geração para os diversos agentes envolvidos.

Os possíveis impactos para os principais agentes da cadeia fotovoltaica foram separados por agentes, sua classificação, tipo e nível de cada um dos casos. Esses dados foram levantados a partir do estudo EPE (2014), formulados com base nas audiências públicas da Aneel e diálogos com diferentes órgãos, bem como em experiências internacionais.

As distribuidoras apresentam extrema importância no desenvolvimento da geração distribuída, pois são responsáveis por operacionalizar o sistema de compensação. Essa operacionalização se dá desde a divulgação das regras especificas para a conexão da geração distribuída em suas redes, passando pela avaliação e aprovação dos projetos, compra e instalação dos sistemas de medição, até a operação propriamente dita do sistema.

Segundo as audiências públicas realizadas pela Aneel, as principais preocupações das distribuidoras são referentes à necessidade de uma maior equipe para avaliar os projetos de geração distribuída (GD), necessidade de mão de obra qualificada, necessidade de investimento na rede, mudança das características técnicas da rede (como níveis de curto-circuito, sensibilidade da proteção e redução da qualidade da energia), elevação das perdas na rede em pontos nos quais a geração é maior que o consumo.

As distribuidoras precisam realizar planejamentos e operações da rede considerando a penetração da GD, pois somente assim as mesmas poderão auferir os benefícios técnicos da geração distribuída. O processo de mapeamento dos pontos favoráveis da rede e a criação de condições para instalação de GD implicam a alocação de recursos por parte das distribuidoras. O quadro 1 ilustra os possíveis impactos.

QUADRO 1
**Possíveis impactos nas distribuidoras**

| Agente | Impacto (custo) | Tipo | Intensidade |
|---|---|---|---|
| Distribuidoras | Adequação e contratação de mão de obra qualificada | Econômico | Baixa |
| | Impacto no fluxo de caixa | Econômico | Baixa |
| | Adequação/instalação de sistemas de monitoramento em redes de baixa tensão | Técnico | Média |
| | Alteração do planejamento da rede e carga | Técnico | Baixa |
| | Impacto (benefício) | Tipo | Intensidade |
| | Possibilidade de aumentar seu portfólio de compra de energia | Econômico | Baixa |
| | Possibilidade de postergação de investimento na rede | Econômico | Média |
| | Possibilidade de melhoria/piora nas características de sua rede[1] | Técnico | Média |

Fonte: EPE (2014).
Nota: [1] Depende da localização dos geradores em relação ao perfil de consumo da rede.

No caso das distribuidoras, a maioria dos impactos considerados como custos são referentes às melhorias na operação do sistema elétrico. Desse modo, uma vez mitigadas essas mudanças podem gerar benefícios para as distribuidoras.

Entretanto, deve-se atentar ao impacto no fluxo de caixa das distribuidoras. A inserção em massa de geração fotovoltaica implicará a diminuição da receita por parte da distribuidora, visto que parte da energia consumida é fornecida por esses sistemas. Esse fenômeno pode ser compensado por meio de revisões tarifárias, que ocorrem periodicamente. Isso poderá acarretar um aumento na tarifa de energia, a depender do grau de penetração da energia FV.

Por outro lado, as distribuidoras podem ser beneficiadas com a penetração da GD nos seus mercados, principalmente sob o ponto de vista técnico. As perdas na transmissão e distribuição de energia são função, entre outros fatores, da dimensão do sistema elétrico brasileiro. Desse modo, ao aproximar a geração do local de seu consumo, reduzem-se estas perdas, diminuindo a necessidade de geração centralizada; e, consequentemente, decrescem as perdas da demanda.

Do ponto de vista do atendimento da demanda, a energia proveniente de geração distribuída, quando consumida imediatamente nas proximidades do gerador, é superior à mesma quantidade gerada em grandes centrais distantes dos centros de carga. Isso decorre do fato de as perdas serem menores quando o consumidor está próximo do gerador. É importante salientar que as perdas são consideradas no cálculo da tarifa; logo, a redução das perdas pode contribuir para a diminuição do valor da tarifa.

O Estado, que é responsável por estabelecer as condições legais e regulatórias para o desenvolvimento da geração distribuída, também faz parte dessa cadeia. As UFs são responsáveis pela determinação da carga tributária incidente sobre os diversos setores da economia.

O principal tributo incidente na geração fotovoltaica é o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), este é muito relevante na formação do preço final da eletricidade para o consumidor final e, consequentemente, para a receita potencial do micro ou minigerador.

Outros dois agentes envolvidos são as empresas de engenharia e serviços e os fabricantes e importadores de equipamentos que compõem os sistemas FV. As empresas que prestam serviços de projeto, instalação e manutenção de GD são fundamentais no desenvolvimento desse mercado. A disponibilidade desse tipo de serviço a preços justos é essencial na difusão da energia fotovoltaica.

Além dos serviços necessários para o funcionamento dos sistemas FV, os fabricantes e importadores de equipamentos são partes importantes da cadeia fotovoltaica. Estes equipamentos vão desde painéis solares até sistemas auxiliares, como inversores, sistemas de medição e proteção, entre outros.

QUADRO 2
**Possíveis impactos nas distribuidoras**

| Agente | Impacto (custo) | Tipo | Intensidade |
|---|---|---|---|
| Empresas de serviços | Necessidade de qualificação e específica e certificação | Econômico | Baixa |
| | Impacto (benefício) | Tipo | Intensidade |
| | Aumento de faturamento | Econômico | Média |
| | Diversificação de negócio | Econômico | Média |

Fonte: EPE (2014).
Elaboração do autor.

Assim como no caso das distribuidoras, os custos para as empresas de serviços podem ser considerados investimentos na formação e especialização de seus funcionários e serviços.

Outro importante agente considerado é o consumidor, que atuará como micro e minigerador. O quadro 3 apresenta os custos e benefícios da difusão da energia fotovoltaica do ponto de vista dos consumidores.

QUADRO 3
**Possíveis impactos nos consumidores**

| Agente | Impacto (custo) | Tipo | Intensidade |
|---|---|---|---|
| Consumidores | Perda de liquidez | Econômico | Baixa |
| | Aumento da tarifa de energia | Econômico | Baixa/média |
| | Impacto (benefício) | Tipo | Intensidade |
| | Forma de investimento em longo prazo | Econômico | Baixa |
| | Economia na conta de energia | Econômico | Média |
| | Engajamento em questões energéticas e ambientais | Socioambiental | Baixa |

Fonte: EPE (2014).
Elaboração do autor.

A instalação de um sistema fotovoltaico pode ser considerada como uma forma de investimento, visto que, ao longo do tempo, o valor total da energia produzida pelo sistema supera seu custo. Assim, como em algumas formas de investimentos, uma desvantagem é a perda de liquidez.

Como já elucidado, a energia fotovoltaica impacta a receita das distribuidoras, podendo resultar em um aumento da tarifa de energia. O grau de impacto dependerá do planejamento das distribuidoras ao incorporar a presença da geração distribuída no gerenciamento da rede.

Por último, são considerados os benefícios que apresentam relevância em diversos setores da sociedade nos âmbitos econômico, social, técnico e ambiental.

QUADRO 4
**Possíveis benefícios da inserção da energia fotovoltaica**

| Agente | Impacto (benefício) | Tipo | Intensidade |
|---|---|---|---|
| Geral | Diversificação da matriz energética | Técnico | Média |
| | Geração de postos de trabalho | Socioeconômico | Média |
| | Economia na contratação de energia | Econômico | Baixa |
| | Redução das perdas técnicas | Técnico/econômico | Baixa |
| | Redução das emissões de GEE | Ambiental | Baixa |

Fonte: EPE (2014).
Elaboração do autor.

Grande parte dos pontos apresentados no quadro 4 já foram discutidos ao longo do texto. Alguns fatores dependem do grau de penetração da energia fotovoltaica na matriz energética do Brasil.

Alguns estudos realizados no contexto europeu indicam 15 postos de trabalho diretos para cada MWp instalado e 30 indiretos. Esses números, porém, incorporam toda a cadeia fotovoltaica, incluindo a fabricação de módulos e inversores. No caso do Brasil, não estão presentes todos os componentes dessa cadeia. Levando isso em consideração, o estudo EPE (2014) considera um fator de 9,5 postos de trabalhos diretos e 15 postos de trabalhos indiretos por MWp instalado.

A difusão de sistemas fotovoltaicos no semiárido incentivaria a criação de novas empresas de prestação de serviços e a instalação de sistemas fotovoltaicos na região. A região Nordeste – e, principalmente o semiárido – do país é a que mais sofre com o desemprego, onde a taxa chega a 15,9% (IBGE, 2018). Em comparação, a região Sul apresentava 8,4% de desemprego na mesma época.

Essa análise inicial não esgota todo o universo de possíveis impactos, mas sinaliza mais impactos positivos do que negativos, apesar de, em geral, apresentarem baixo efeito.

Em termos de agentes envolvidos, ressaltam-se principalmente as distribuidoras, que terão seu fluxo de caixa impactado, ao deixar de vender parte da energia consumida pelos produtores fotovoltaicos. No entanto, essa perda de receita

pode ser compensada nas revisões tarifárias futuras, minimizando este impacto. É importante notar que a distribuidora também seria beneficiada com a diminuição das perdas e da necessidade de investimentos na expansão da rede.

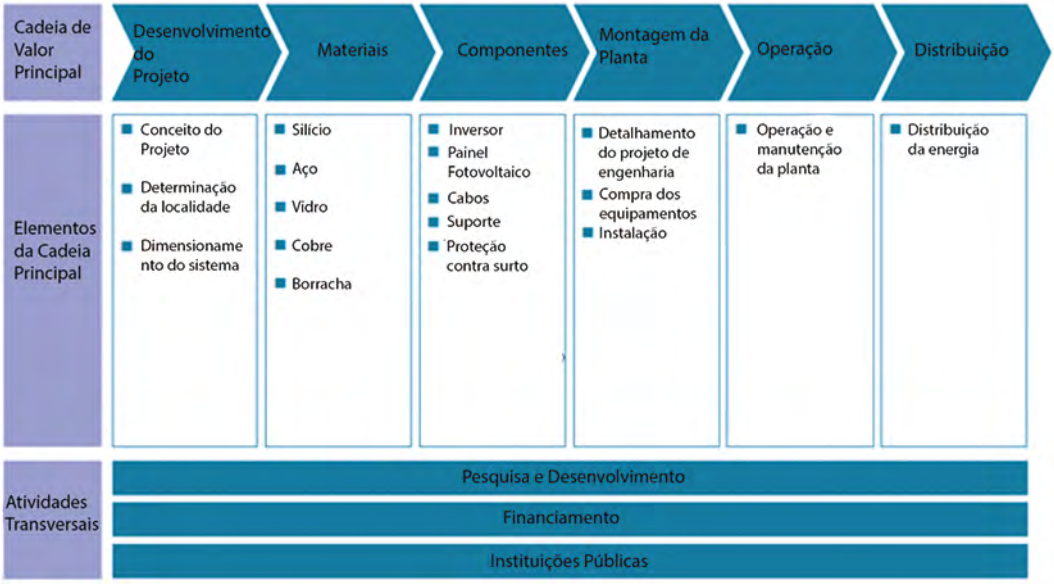
Dessa forma, as possíveis reduções de receitas e o aumento de custos devido à inserção da GD fotovoltaica devem ser analisados de maneira criteriosa, evitando posições mal fundamentadas a respeito de custos e benefícios desse tipo de tecnologia.

### 4.2 Cadeia de valor fotovoltaica

A cadeia de valor indica todas as etapas necessárias para que a planta fotovoltaica inicie sua operação. Desse modo, ela apresenta as etapas desde a concepção e o desenvolvimento do projeto até o funcionamento da planta. A cadeia de valor é formada basicamente por quatro elos. O primeiro diz respeito ao desenvolvimento do projeto. Nesse período, dimensiona-se a potência instalada da planta, assim como sua localização, a empresa responsável pela parte de engenharia, os fornecedores de componentes, entre outros.

Com a primeira etapa concluída e o projeto da planta consolidado, o próximo passo é a fabricação e montagem dos componentes. A terceira etapa consiste na construção da planta, e a quarta refere-se ao comissionamento e operação, podendo também ser subdividida em duas. Podem também ser incluídas etapas transversais, como financiamento e pesquisa e desenvolvimento (P&D), que podem acompanhar todo o desenvolvimento da planta. A figura 2 apresenta a cadeia de valor fotovoltaica.

FIGURA 2
**Cadeia de valor fotovoltaica**

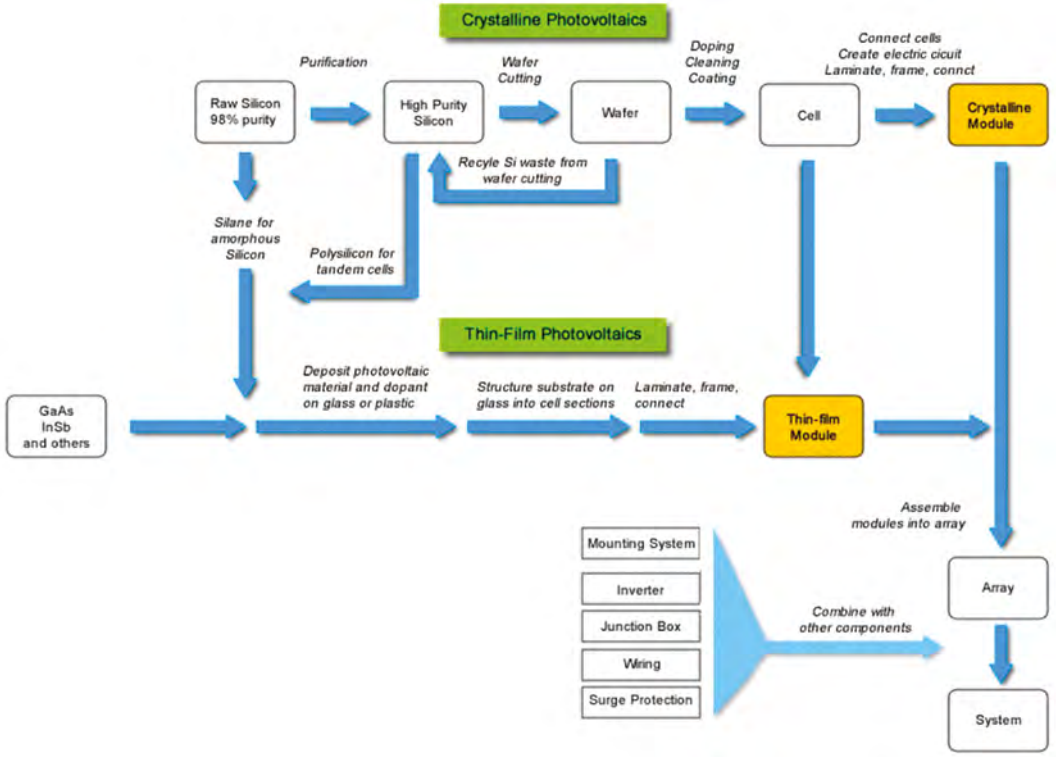



Fonte: COPEE (2017).
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Analisando a figura 2, pode-se observar que a parte de distribuição de energia, posterior à etapa de operação, também é considerada. Além disso, também estão presentes etapas transversais, como P&D, financiamento e políticas públicas. Esses fatores serão abordados com mais detalhe nas próximas seções.

A figura 3 mostra com mais detalhe a cadeia de valor dos painéis fotovoltaicos.

FIGURA 3
**Detalhamento da cadeia de valor dos painéis fotovoltaicos**




Fonte: GRE (2016).
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

A seguir, detalham-se os principais elementos da cadeia de valor FV (Sebrae, 2017).

1) Células fotovoltaicas de silício cristalino (c-Si): as células fotovoltaicas tradicionais são feitas de silício e são geralmente as mais eficientes para o uso comercial em massa. Esta é a tecnologia mais utilizada hoje no mundo, sendo dividida em dois grupos principais: células fotovoltaicas de silício monocristalinas (mais caras, porém mais eficientes) e multicristalinas (mais baratas, porém menos eficientes).

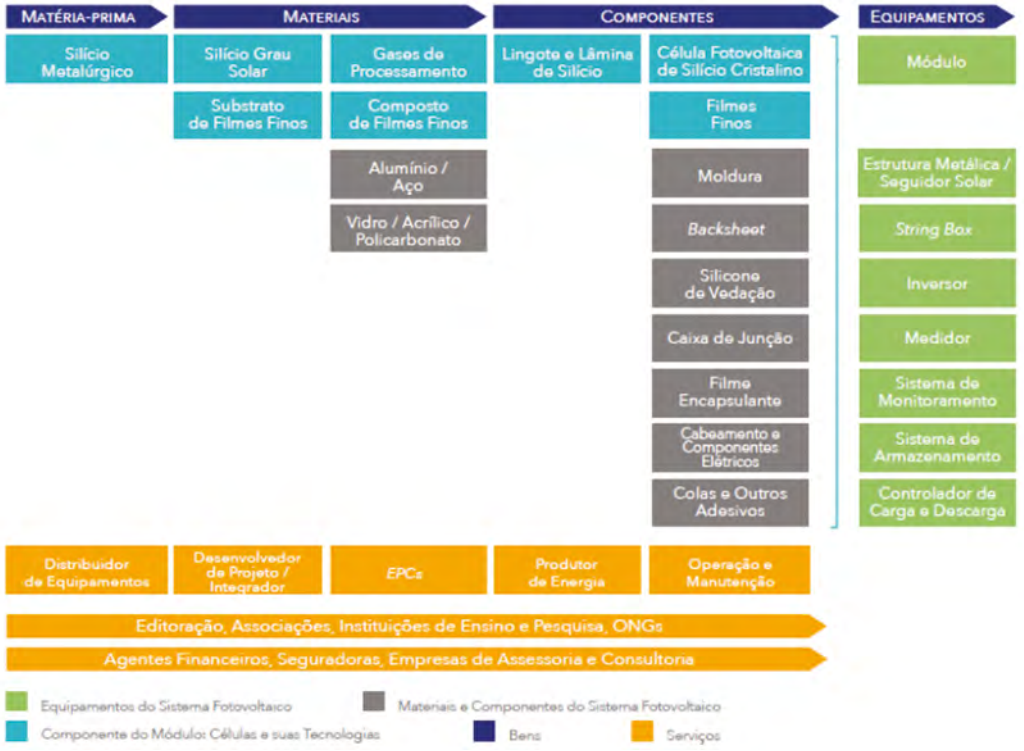
2) Células de filmes finos: as células fotovoltaicas de filme fino utilizam camadas de materiais semicondutores extremamente finas. Uma vantagem desta tecnologia é que ela pode ser utilizada em substratos rígidos ou flexíveis, o que possibilita que seja utilizada também em superfícies e aplicações diversas. Atualmente, o filme fino é geralmente menos eficiente na conversão de luz do Sol para eletricidade quando comparado ao silício cristalino.

3) Célula fotovoltaica: uma célula solar fotovoltaica é um dispositivo semicondutor que converte a energia solar em eletricidade pelo efeito fotovoltaico. Dependendo da tecnologia utilizada, lâminas de silício são processadas de quinze a vinte passos de tratamentos químicos até chegar a uma célula fotovoltaica.
4) Alumínio: o alumínio tem função estruturante para o módulo fotovoltaico, sendo o material mais utilizado para a confecção da moldura. Ele se destaca pelo fato de ser leve e ainda assim ter resistência mecânica e contra corrosão, que são essenciais em uma estrutura que fica exposta ao ambiente.
5) Moldura: a moldura é responsável pelo enquadramento do módulo fotovoltaico, garantindo assim a robustez e a integridade deste. Os materiais utilizados na confecção das molduras podem ser de aço ou alumínio; além disso, silicones, colas e adesivos também são necessários para garantir a vedação e fixação.
6) Vidro especial: vidro especial para módulo fotovoltaico tem como característica principal proteger as células fotovoltaicas de agressores externos. Utilizam-se vidros puros, com baixíssimo teor de ferro, e revestidos por uma substância antirreflexo, que permite a absorção da luz solar.
7) Módulo fotovoltaico: ligação de várias células solares em série. Diversos módulos podem ser conectados uns aos outros por meio de uma caixa de junção.
8) *String box*: a *string box* é conectada ao inversor de frequência e ao quadro de proteção da rede elétrica. Quando conectado ao lado da corrente contínua (do inglês *direct current* – DC), ele protege a instalação e os módulos fotovoltaicos contra descargas elétricas. Quando os dispositivos de segurança estão presentes na conexão com o lado da corrente alternada (do inglês *alternating current* – AC), ela realiza a proteção da instalação contra descargas atmosféricas.
9) Inversor: o objetivo principal do inversor é realizar a conversão da corrente contínua produzida pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada. O papel dos inversores é cada vez mais abrangente e importante no segmento; entre outras funcionalidades, atua controlando cargas na rede.

A produção de sistemas fotovoltaicos é uma indústria global e envolve múltiplas empresas e segmentos que atuam nos diversos elos da cadeia. De modo geral, são grandes as expectativas sobre a demanda por energia solar no Brasil, visto que o país apresenta um enorme potencial de geração desse tipo de energia.

Dessa forma, diversas empresas têm se manifestado no sentido de buscar espaço de atuação no mercado doméstico. Muitas dessas empresas já contam com representantes comerciais ou mesmo unidades físicas de comercialização em pleno funcionamento no Brasil. Ainda assim, existem elos da cadeia que não estão presentes no país. A figura 4 representa a composição da cadeia produtiva fotovoltaica.

FIGURA 4
**Cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica**



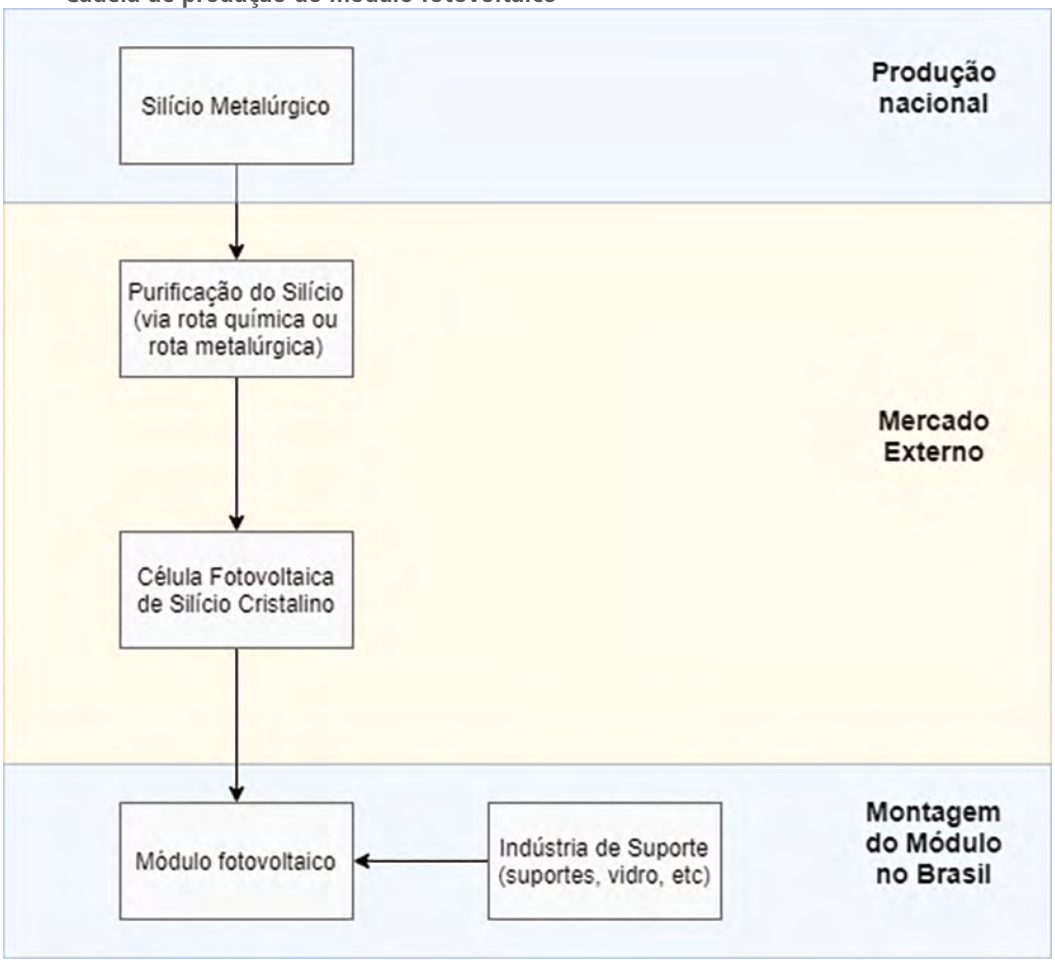

Fonte: CELA (2017).
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

### 4.3 Análise da indústria brasileira FV

Apesar do Brasil estar entre os maiores produtores mundiais de silício metalúrgico do mundo, não existe a purificação de silício no país até o grau solar em nível comercial. O processo de purificação é intensivo no uso de energia e tem elevado custo, com valores significativos na operação e manutenção. A produção de módulos fotovoltaicos é bastante verticalizada, sendo dominada por países asiáticos, que contam com custos de produção reduzidos, e, desse modo, obtiveram ganhos de escala expressivos nos últimos anos.

Nos demais elementos que fazem parte dos módulos e células, como vidros, plásticos e circuitos, a indústria nacional possui condições técnicas para fornecer estes produtos, assim como disponibilizar a montagem dos módulos. A figura 5 mostra as etapas simplificadas da cadeia de produção do módulo fotovoltaico.

FIGURA 5
**Cadeia de produção do módulo fotovoltaico**

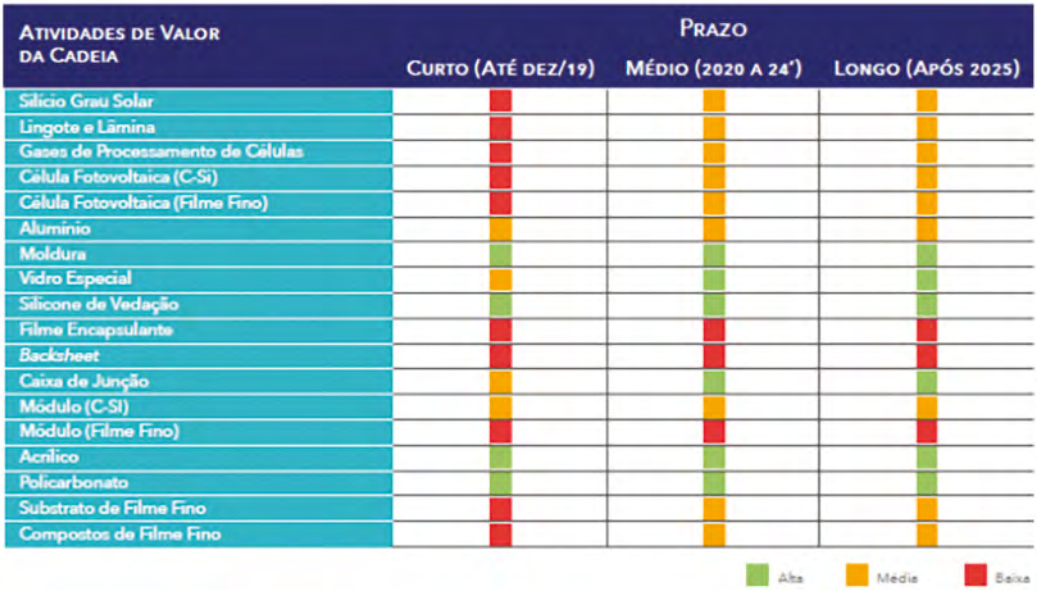



Fonte: Sebrae (2017).
Elaboração do autor.
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Ainda que a produção de silício de grau solar não tenha forte relevância no cenário nacional, outras indústrias se beneficiam com a expansão da energia fotovoltaica, como a de aço e alumínio. Essas encontraram um novo nicho no mercado, fabricando as estruturas metálicas e embalagens para as placas que são montadas no Brasil.

A figura 6 apresenta o grau de competitividade dos produtos nacionais frente ao mercado externo. Produtos que são utilizados em outros setores da economia, como acrílico e policarbonato, são extremamente competitivos, enquanto as atividades exclusivas da cadeia fotovoltaica, como a purificação do silício em grau solar e célula fotovoltaica, possuem baixa competitividade.

FIGURA 6
**Diagnóstico de competitividade no Brasil versus mercado internacional**




Fonte: CELA (2017).
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

A produção de inversores para sistemas fotovoltaicos tem grande sinergia com a produção de equipamentos eletroeletrônicos para aplicações em outras áreas, como informática e telecomunicações. Desse modo, os players mais importantes deste elo da cadeia também são reconhecidos como líderes em outros ramos. De forma bastante semelhante ao que ocorre com a fabricação de módulos, a indústria nacional deste segmento enfrenta algumas dificuldades para produzir equipamentos que tenham preços competitivos comparados aos internacionais.

No contexto nacional, a produção de inversores está concentrada no mercado de sistemas *off-grid*. A fabricação desses inversores é mais simples e os produtos nacionais enfrentam menos competição de produtos do exterior. Quanto aos inversores para sistemas conectados à rede (on-grid), o segmento é dominado por produtos de empresas estrangeiras.

A produção nacional de baterias, que não é voltada exclusivamente para o setor fotovoltaico, é capaz de atender às demandas do setor. Além disso, a importação de baterias é dificultada devido ao seu tamanho, resultando um elevado custo de transporte.

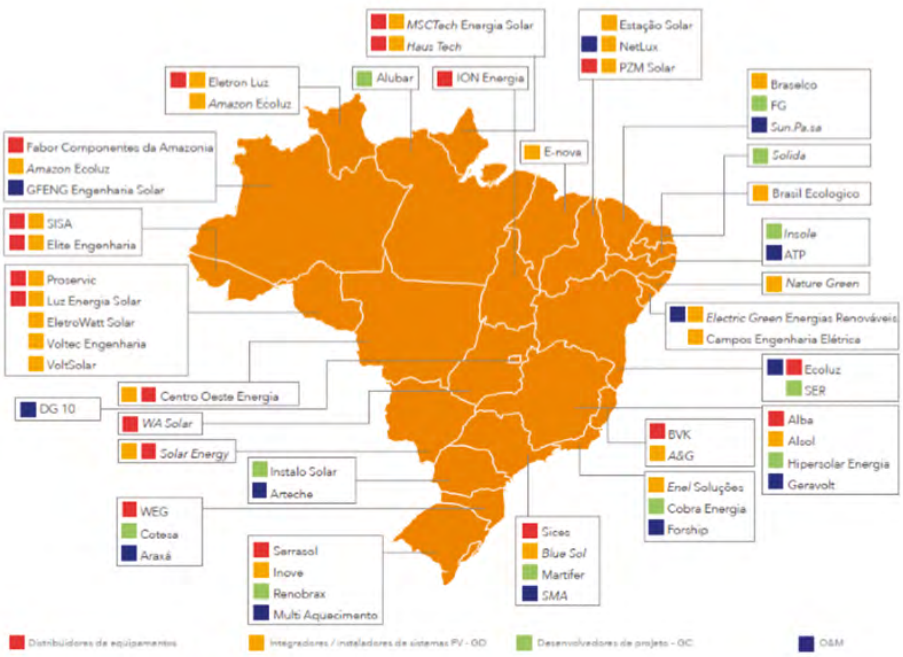
Também existem questionamentos sobre o impacto ambiental das baterias, devido à utilização de chumbo. Novas tecnologias estão sendo pesquisadas com o intuito de se aumentar a vida útil do banco de baterias, garantindo uma manutenção das condições de operação do equipamento mesmo sob temperaturas elevadas, além propiciar a busca de insumos menos agressivos ao meio ambiente.

A produção dos demais componentes do sistema fotovoltaico, o *balance of system* (BoS), é quase totalmente feita no Brasil, uma vez que seus produtos não são manufaturados exclusivamente para a indústria fotovoltaica. Entretanto, esses produtos precisam de algumas adaptações para utilização em sistemas fotovoltaicos, dadas as características muito específicas das aplicações neste setor.

Por fim, a prática comum no Brasil é o desenvolvimento de projetos e integração de sistemas. O país conta com diversas empresas que possuem *know-how* e mão de obra qualificada para a realização de projetos e instalações de sistemas fotovoltaicos.

A figura 7 apresenta algumas das empresas presentes no setor de serviços da cadeia fotovoltaica. Essas estão presentes em todas as UFs brasileiras e, segundo levantamento da CELA (2017), já são mais de 1 mil empresas atuando no Brasil.

FIGURA 7
**Empresas de principais serviços do segmento fotovoltaico no Brasil**




Fonte: CELA (2017).
Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução e cujos leiaute e textos não puderam ser padronizados e revisados em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

O mercado fotovoltaico no Brasil, apesar de ainda discreto, apresenta crescimento acelerado e em fase inicial de desenvolvimento. Isso propicia grandes oportunidades para inovação no setor, por meio da atuação de *startups*.

Algumas dessas *startups* focam na criação de novos materiais e o aprimoramento de processos produtivos, como a Sunew, uma *startup* de Belo Horizonte que produz *organic photovoltaic* (OPV). Esse filme fotovoltaico orgânico pode ser aplicado em vidros, atuando como uma espécie de tinta, capaz de produzir energia a partir da radiação solar. Outro exemplo é a implementação de usinas solares flutuantes, como a criada pela Sunlution, que permite a geração de energia em lagos, além de diminuir a temperatura de operação (aumentando a eficiência) e a evaporação natural.

Outras *startups* estão focadas em novos modelos de negócio, como autoconsumo remoto, condomínios solares, serviços de assinatura e geração compartilhada.

De modo geral, o Brasil é pouco competitivo comparado ao mercado internacional para os componentes principais do sistema fotovoltaico. O país apresenta forte competitividade em produtos que integram a cadeia fotovoltaica, mas também são utilizados em outros setores e em desenvolvimento de projetos e prestação de serviços.

## 5 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA DIFUSÃO DA GERAÇÃO SOLAR FV NO SEMIÁRIDO

O desenvolvimento sustentável é um dos temas mais discutidos nas últimas décadas, tanto no setor público quanto no privado. O crescimento econômico é, muitas vezes, relacionado com ações que impactam o meio ambiente. Por sua vez, a energia é uma peça fundamental no desenvolvimento econômico e social de qualquer sociedade. Desse modo, a utilização de tecnologias de energias limpas e renováveis ganhou grande destaque nos últimos anos, principalmente por parte dos governos, por meio de políticas públicas e incentivos.

Considerando-se esses aspectos, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma peça importante na matriz energética brasileira. Entretanto, é necessário saber de que maneira esse tipo de geração será incorporada na matriz: sem incentivos e com crescimento tímido ou com incentivos e de forma mais imediata.

É possível classificar as diferentes políticas existentes em incentivos fiscais, mecanismos de financiamento público e normas regulatórias.

### 5.1 Experiências internacionais de incentivo à energia solar FV

O desenvolvimento da energia FV nos países líderes em potência instalada, como Estados Unidos, Japão, China, Itália e Alemanha, foi impulsionado por programas de incentivos para a promoção e desenvolvimento de fontes alternativas de energia. Entretanto, tais incentivos variam de país para país e alguns variam entre fontes de energia diferentes. A nota técnica da EPE (2012) apresenta alguns mecanismos de incentivo que foram utilizados nesses países; uma breve descrição desses é apresentada no quadro 5.

QUADRO 5
**Descrição dos principais mecanismos utilizados para incentivar a geração fotovoltaica**

| Mecanismo | Descrição |
|---|---|
| Tarifa-prêmio | Aquisição, pela distribuidora, da energia a uma tarifa superior àquela paga pelo consumidor. |
| Cotas de energia | Instrumento de aquisição obrigatória de determinado patamar de geração elétrica a partir de fontes renováveis. |
| Subsídio ao investimento inicial | Subsídio direto, seja sobre equipamentos específicos, seja sobre o investimento realizado em sistemas fotovoltaicos. |
| Dedução no imposto de renda | Dedução no imposto de renda de parte ou todo o investimento realizado em sistemas fotovoltaicos. |
| Incentivo à aquisição de eletricidade "verde" oriunda de sistemas fotovoltaicos | Este tipo de incentivo confere ao consumidor final o direito de escolha quanto à aquisição de eletricidade proveniente de geração fotovoltaica, mediante o pagamento de uma tarifa maior. |
| Obrigatoriedade de aquisição de FV no portfólio obrigatório de renováveis | Instrumento de aquisição obrigatória de determinado patamar de geração elétrica proveniente de geração fotovoltaica. |
| Fundos de investimento para FV | Oferta de ações em fundos privados de investimentos. |
| Ações voluntárias de bancos comerciais | Concessão preferencial de hipotecas para construções que possuam sistemas fotovoltaicos e empréstimos para instalações destes sistemas. |
| Ações voluntárias de distribuidoras | Mecanismos de suporte à aquisição de energia renovável pelos consumidores, instalação de plantas centralizadas de FV, financiamento de investimentos e modelos de aquisição de eletricidade derivada de FV. |
| Padrões em edificações sustentáveis | Estabelecimento de padrões mínimos de desempenho para edificações (existentes e novas), cujo contexto favorece, entre outras medidas, a adoção de sistemas fotovoltaicos. |

Fonte: EPE (2012).
Elaboração do autor.

Em geral, a tarifa-prêmio é o mecanismo de incentivo à geração FV mais adotado no mundo. Nesse sistema, são oferecidos preços garantidos por certo período de tempo para a energia produzida. Dessa forma, reduzem-se os riscos da instalação dessa tecnologia, o que incentiva o investimento.

Em alguns países, houve grande discrepância entre o custo das instalações FV e os valores pagos pela tarifa-prêmio. Isso ocorreu devido à diminuição dos custos de novas instalações sem a adequação do valor de venda da energia produzida pelos sistemas, desencadeando um crescimento desenfreado em vários países, como a Alemanha e Itália.

Por esse motivo, alguns lugares adotaram tarifas-prêmio que variam com o tempo de forma programada. Dessa forma, há um incentivo à eficiência para que as tecnologias possam ser cada vez mais competitivas, controlando-se melhor a demanda do mercado e evitando-se crescimentos descontrolados.

A geração FV, diferentemente de outras formas de geração de energia elétrica, não possui custos com combustíveis. Além disso, seus custos de manutenção e operação são baixos. Contudo, o custo inicial é bastante elevado e representa uma barreira na difusão em larga escala dessa tecnologia. Portanto, medidas que facilitem novas instalações servem como importante estímulo para a energia FV.

A redução de impostos incidentes nos equipamentos do sistema FV é um dos mecanismos de subsídio que reduzem o custo inicial de uma nova instalação. Porém, este depende dos interesses e metas particulares do governo de cada país. Outra possibilidade é a dedução de imposto de renda com despesas relacionadas à energia solar, como custos dos equipamentos e de mão de obra para instalação de um novo sistema.

Além destes incentivos, existem diversos outros meios de promoção de energias renováveis, sejam eles financeiros, políticos ou de regulações. Como, por exemplo, subsídios à produção de componentes, investimentos em P&D, empréstimos em condições diferenciadas e mecanismos de regulação fiscal.

O acesso de famílias menos favorecidas à energia fotovoltaica é extremamente dependente de linhas de crédito específicas para esse propósito, cujas características devem incluir, entre outras, baixas taxas de juros e tempo de financiamento suficientemente longo. Medidas como a dedução no imposto de renda não geram impactos para essa parcela da população.

É importante notar que grande parte dos países adota uma combinação destes mecanismos de incentivos, além de adequá-los a suas próprias necessidades e exigências. O quadro 6 ilustra esse fato para o caso de incentivos direcionados à energia solar FV.

QUADRO 6
**Mecanismos de incentivo à geração solar em países selecionados**

| Mecanismo | Alemanha | Itália | França | Estados Unidos | Japão |
|---|---|---|---|---|---|
| Tarifa-prêmio | X | X | X | X | X |
| Subsídio ao investimento inicial | | X | X | X | X |
| Incentivo à aquisição da energia produzida | | | | X | |
| Dedução no imposto de renda | | | X | X | |
| Obrigação de aquisição da energia pela concessionária | | | | X | X |
| Fundos de investimento para FV | X | | | X | |
| Net metering/net billing | | | | X | |
| Ações voluntárias de bancos comerciais | X | | | X | X |
| Ações voluntárias de distribuidoras | X | | | X | X |
| Padrões em edificações sustentáveis | X | | | | |

Fonte: EPE (2012).
Elaboração do autor.

Desse modo, a forma com que a energia solar FV é distribuída mundialmente está atrelada aos incentivos de políticas públicas, concentrando-a, portanto, em países que promovam tais políticas. A tabela 1 apresenta os dados dos cinco países com maior capacidade fotovoltaica instalada acumulada em 2016.

TABELA 1
**Capacidade total instalada nos cinco países que lideravam o ranking em 2016**
(Em GW)

| País | Capacidade total instalada |
|---|---|
| China | 78,1 |
| Japão | 42,8 |
| Alemanha | 41,2 |
| Estados Unidos | 40,3 |
| Itália | 19,3 |

Fonte: EPE (2012).
Elaboração do autor

Com a exceção da China, todos os outros países com maior capacidade instalada estão presentes no quadro 6. Ou seja, países que apresentam uma combinação de mecanismos de incentivo à geração solar FV. Apesar de não estar presente no estudo da EPE (2012), a China também conta com incentivos financeiros para a instalação de sistemas FV (Xia, 2013). Isto mostra a importância das políticas de incentivo para a promoção da energia solar FV.

### 5.2 Experiência nacional de incentivo à energia solar FV

Como já demonstrado neste trabalho, a energia solar FV tem um elevado potencial no Brasil e é uma das melhores alternativas para diversificação da matriz energética. O país já conta com alguns incentivos para esse tipo de geração. Os principais são listados abaixo, com base no estudo de Rosa e Gasparin (2017).

1) Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD): criado em 2015 pelo Ministério de Minas e Energia (MME), com o objetivo de estimular a geração de energia de forma distribuída no país a partir de fontes renováveis.
2) Isenção de ICMS: a partir do convênio ICMS nº 101/97, celebrado entre as secretarias de Fazenda de todas as UFs, há isenção do imposto para as operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica.
3) Condições diferenciadas de financiamentos (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES): energia solar, geração a partir da biomassa, hidrelétricas e outras fontes renováveis podem obter o financiamento com baixa taxa de juros e um prazo de amortização de até vinte anos.
4) Plano Inova Energia: fundo de R$ 3 bilhões, criado em 2013, por BNDES, Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e Aneel, com foco na empresa privada e com o objetivo de pesquisa e inovação tecnológica nas áreas de energias alternativas, como a solar, entre outras. Compreende o desenvolvimento de tecnologias para produção de lâminas de silício, silício purificado em grau solar, células fotovoltaicas de silício; o desenvolvimento de tecnologias para produção de células fotovoltaicas de filmes finos; e o desenvolvimento de tecnologias e soluções para produção de inversores e equipamentos que compreendem as instalações de sistemas fotovoltaicos. O programa oferece condições diferenciadas para financiamentos e inclusive subvenção para financiar iniciativas de inovação;
5) P&D: edital nº 013/2011, chamado de *P&D Estratégico*: *arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira*, somando R$ 395 milhões destinados à pesquisa.
6) Laboratório de Energia Fotovoltaica Richard Louis Anderson: voltado para pesquisa e desenvolvimento de módulos fotovoltaicos customizados. Deverá auxiliar na popularização do conceito de edifícios integrados e na disseminação da microgeração fotovoltaica.
7) Fundo Clima: fundo vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), cuja finalidade é garantir recursos para apoio a projetos ou estudos e financiamento de empreendimentos que tenham como objetivo a mitigação das mudanças climáticas.

8) Redução do Imposto de Renda: projetos prioritários implantados nas áreas de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (Sudam) e da Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (Sudeco) têm redução de imposto de renda.

9) Programa Luz para Todos: instalação de painéis solares em unidades consumidoras que não têm acesso à energia elétrica, por meio de um sistema fotovoltaico isolado.

### 5.3 Proposição de instrumentos de política pública para a geração solar FV

O acesso à informação é essencial na implantação de qualquer política pública. Assim, a disseminação dos benefícios da energia solar, bem como aspectos relacionados a procedimentos de conexão e custos do sistema, pode incentivar a difusão de sistemas FV. Nesse contexto, o apoio da Aneel é peça-chave no que diz respeito aos referidos aspectos da geração FV, assim como para prover informações relacionadas a fornecedores de mão de obra e painéis FV por UFs e municípios. Pode-se também pensar na criação de espaços nos quais agentes interessados (entidades e agentes do governo; institutos de pesquisa, desenvolvimento e inovação; universidades; indústria de tecnologias de informação e comunicação – TIC, em *hardware*, *software* e equipamentos; e empresas do setor energético) possam compartilhar experiências, opiniões e informações técnicas acerca da geração FV.

Um programa que pode impulsionar o desenvolvimento da fonte solar no país é o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE (2016-2026), que projeta a queda na dependência da geração de energia por fonte hidráulica, frente a um crescimento de outras fontes renováveis, com destaque para energia eólica. O PDE projeta que a energia solar terá uma expansão na capacidade instalada de 7 GW para a fonte solar-fotovoltaica.

Outro ponto que pode ser peça-chave na difusão da energia FV é o investimento em P&D por parte do governo federal. Apesar de o mercado de painéis fotovoltaicos ser dominado pela produção chinesa, existem pesquisas em desenvolvimento para purificação do silício por meio da rota metalúrgica melhorada. Esse movimento aproveitaria a produção já consolidada do silício grau metalúrgico no país. Embora o trabalho seja promissor, encontra-se em fase inicial e alguns desafios técnicos com relação ao controle de impurezas ainda não foram resolvidos (Ribeiro, Martorano e Ferreira, 2013).

Pode-se também buscar o desenvolvimento da produção de outros elementos que fazem parte do sistema, como equipamentos de armazenamento de energia, proteção e conversão de corrente contínua-alternada.

Um dos maiores entraves para a energia fotovoltaica era o tempo de retorno do investimento. Com a redução dos preços dos sistemas fotovoltaicos e o aumento da tarifa de energia elétrica, a recuperação do investimento é considerada de médio prazo. Contudo, o investimento inicial ainda é considerado elevado. Isso impossibilita a grande parte da população dar início à implantação de um sistema FV. A parcela da sociedade que tem poder aquisitivo elevado também hesita em investir neste tipo de geração de energia, pois há bastante incerteza sobre qual tipo de investimento fazer, ao se comparar o sistema fotovoltaico a outras aplicações financeiras, o que reforça a necessidade de financiamentos com juros inferiores aos do mercado.

Dessa forma, o BNDES será de extrema importância no auxílio à difusão da energia FV. O órgão já anunciou que está empenhado em ajudar na superação do obstáculo referente ao investimento inicial, e que pode destinar recursos para financiar distribuidoras e demais empresas que tiverem interesse em implantar sistemas que auxiliem na promoção da microgeração distribuída, fato que poderá trazer benefícios à energia solar. Um exemplo disso é o BNDES Finame Energia Renovável, que possibilita financiamento para aquisição e comercialização de sistemas de geração de energia solar e eólica e aquecedores solares, incluindo serviço de instalação e capital de giro associado.

O *leasing* é outra alternativa que pode incentivar a utilização de sistemas FV. Essa modalidade não possui alto custo de instalação; nela, o contratante paga, periodicamente, apenas um determinado valor para a empresa, que possui a responsabilidade de instalar e dar manutenção ao sistema.

A instalação de fábricas no Brasil também poderia incentivar o desenvolvimento no setor. A energia eólica, por exemplo, teve queda nos preços dos equipamentos após nacionalização. Além disso, a produção nacional gera empregos e renda, reduzindo o risco cambial, fator que desestimula os investimentos, uma vez que traz incertezas no futuro.

O estabelecimento de uma indústria fotovoltaica enfrenta, principalmente, barreiras oriundas do custo de capital e do conhecimento tecnológico (Rathmann, 2017). A produção do silício grau solar é a operação de maior custo em toda a cadeia produtiva, mas também é onde ocorre a maior agregação de valor (Carvalho, Mesquita e Rócio, 2014). Essa política pode se aproveitar da grande produção de silício grau metalúrgico brasileira, material principal para a obtenção do silício grau solar. Entretanto, devido ao alto custo inicial e à necessidade de conhecimento específico em algumas etapas da cadeia, uma boa alternativa seria iniciar a atuação no mercado pelos estágios de menor custo. Desse modo, a parceria entre Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Aneel, financiadoras de projetos e empresas do setor é essencial para a sustentação dessa estratégia.

Apesar do crescimento recente da energia fotovoltaica no Brasil, o sistema de compensação apresenta limitações. O sistema elétrico nacional apresenta dependência das chuvas devido ao parque gerador hidrelétrico, o que torna o sistema de compensação refém do regime das chuvas. Quando há o despacho das termelétricas e, consequentemente, aumento da tarifa por meio das bandeiras tarifárias, a energia produzida por sistemas fotovoltaicos torna-se mais atrativa economicamente. Essa irregularidade pode prejudicar o planejamento de investimentos em energia fotovoltaica.

Entretanto, o estímulo descontrolado à geração FV, como ocorreu em alguns países na Europa, não permite o estabelecimento de um mercado estável e sustentável fotovoltaico.

Assim, aconselha-se a criação de linhas de financiamento específicas para a energia fotovoltaica para impulsionar seu desenvolvimento. Com juros baixos e prazos longos, o acesso a esse tipo de tecnologia é facilitado para as diversas parcelas da população. Em especial, os incentivos devem ser focados em famílias de baixa renda. Para esse grupo, taxas especiais de financiamento ou melhores formas de compensação pela energia gerada podem ser possíveis alternativas. Entre as diversas instituições financeiras que oferecem linhas de financiamento diferenciado, destacam-se bancos públicos, como o Banco da Amazônia, o Banco do Brasil, o BNDES e o Banco do Nordeste. Além disso, algumas instituições privadas também contam com linhas específicas para o setor, como o Bradesco, a BV Financeira, o Santander e o Sicoob.

Por fim, pode-se pensar na implantação de uma política de geração de renda por meio da utilização da energia FV. O Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) prevê a compra, por parte da distribuidora de energia, de até 10% de sua demanda atual proveniente de geração distribuída, sendo R$ 454,00/MWh o preço de referência. Os sistemas FV seriam fornecidos pelo governo em parceria com as distribuidoras ou financiados em condições diferenciadas para uma parcela da população. Idealmente, famílias na região do semiárido que se encontram em situação de vulnerabilidade socioeconômica.

A energia produzida por esses sistemas, além de proporcionar todos os benefícios já citados no texto, poderia ser vendida, resultando em uma renda extra para a família que a ela aderisse. A dificuldade dessa política é a negociação com a distribuidora para a aquisição da energia produzida, visto que valores mais baratos podem ser encontrados em leilões de energia.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A população do semiárido brasileiro sofre com a desigualdade social, crescente degradação dos recursos naturais, concentração de terras, além da irregularidade das chuvas e baixa fertilidade do solo (Buaiain e Garcia, 2013). Grande parte da sua população depende de auxílio direto do governo federal, como o benefício do PBF.

Além da falta de chuvas, a região apresenta altos índices de radiação solar, acarretando altas temperaturas ao longo do ano e dificultando a vida da população durante as secas prolongadas. Com isso em vista, a energia fotovoltaica surge como oportunidade para utilizar a forte radiação como impulsor para a melhoria de vida dos habitantes do semiárido.

Essa região encontra-se em uma localização privilegiada para captação solar, visto que, além de receber grandes quantidades de radiação solar, apresenta um regime solar bastante homogêneo ao longo dos ciclos sazonais e possui um bom nível de eficiência devido ao regime de ventos local. Além disso, a região também se mostra interessante para explorar sistemas híbridos que combinam energia FV e eólica.

A busca por fontes alternativas de energia é de suma importância, principalmente no contexto da matriz energética brasileira, que é extremamente dependente da geração hidrelétrica, responsável por mais de 68% da geração atual do país. A tendência nos próximos anos é a diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos decorrente das mudanças climáticas, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Desse modo, a geração distribuída, regulada pela Aneel, vem ajudando na missão de diversificar a matriz energética brasileira. O *net metering* é o sistema de compensação adotado no Brasil, e essa modalidade cresce em ritmo cada vez mais acelerado.

Mesmo assim, a participação da geração fotovoltaica na matriz energética ainda é tímida. O investimento inicial para a implantação desses sistemas ainda é alto, e grande parte da população não tem acesso a linhas de financiamento adequadas para obtê-los. Logo, a parcela mais rica da população é a que mais se beneficia do sistema de compensação atual.

A melhor forma de atrair um investimento é mostrar seus futuros retornos. Com isso em mente, uma metodologia foi desenvolvida neste trabalho para demonstrar o potencial técnico de geração fotovoltaica no semiárido. Considerando-se áreas residenciais e rurais, o potencial calculado superou 11 mil TWh no primeiro ano. Essa quantidade é suficiente para suprir quase metade do consumo mundial de energia por ano, o que demonstra o enorme potencial que essa região tem, podendo se tornar peça-chave no contexto energético nos próximos anos no Brasil.

Além da geração de eletricidade, a difusão da energia fotovoltaica proporciona outros benefícios em diversas esferas da sociedade. Considerando-se o Nordeste do Brasil, onde se localiza a maior parte do semiárido, a geração de postos de trabalho é, possivelmente, um dos impactos mais positivos, por ser aquela a região do país que mais sofre com o desemprego e baixos índices socioeconômicos. Ainda, pode-se pensar no desenvolvimento de novas políticas públicas, como a utilização de sistemas FV na geração de renda para populações vulneráveis.

Tomando-se os países líderes de produção fotovoltaica no mundo como comparação, o Brasil ainda está muito defasado no que concerne aos incentivos para a geração fotovoltaica. Por mais que os resultados recentes sejam positivos, ainda há bastante espaço para crescimento com o incentivo de políticas públicas.

## REFERÊNCIAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Análise de impacto regulatório**. [s.l.]: Aneel, 2014. Disponível em: <http://bit.do/fm2qf>.

_____. **Resumo estadual de geração distribuída**. [s.l.]: Aneel, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2Qwd4Pu>.

ASA – ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Semiárido – é no semiárido que a vida pulsa! **Asabrasil.org.br**, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2O02Xkc>.

BARBOSA, W. P.; AZEVEDO, A. C. S. Geração distribuída: vantagens e desvantagens. *In*: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, 2., 2013, Universidade do Estado do Pará. **Anais**... Belém: UEP, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/2CSSpgq>.

BAZILIAN, M. *et al*. Reconsidering the economics of photovoltaic power. **Renewable Energy**, v. 53, p. 329-338, 2013.

BARBOSE, G.; DARGHOUTH, N. **Tracking the Sun VIII**: The Installed Price of Residential and Non-Residential Photovoltaic Systems in the United States. EMP: California, 2015

BUAIAIN, A.; GARCIA, J. R. Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformações recentes, desafios e perspectivas. **CONFINS – Revista franco-brasileira de geografia**, n. 19, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/2CTezPZ>.

CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. D.; RÓCIO, M. R. **A rota metalúrgica de produção de silício grau solar**: uma oportunidade para a indústria brasileira? Rio de Janeiro: BNDES, 2014.

CELA – CLEAN ENERGY LATIN AMERICA. **Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica**. Brasília: Sebrae, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/37kZ8Oy>.

COPEE – INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA. **Cobenefícios de plantas solares de concentração**. Rio de Janeiro: COPPE, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2KvWhrW>.

CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS; INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas de Energia Solar**. São José dos Campos: CPTEC; Inpe, 2005. Disponível em: <http://bit.do/fm2j9>.

CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS; INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Dados de radiação solar**. [s.l.]: [s.n.], jan. 2016. Disponível em: <http://bit.do/fmZPR >.

EIA – U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. International Energy Outlook 2017. **Eia.gov**, 14 set. 2017. Disponível em: <https://bit.ly/32SM0MY>.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

_____. **Inserção da geração fotovoltaica distribuída no brasil** – condicionantes e impactos. Rio de Janeiro: EPE,2014.

_____. **Balanço Energético Nacional 2017**: Ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

FERREIRA, T. *et al*. Agroecossistemas em propriedades familiares no semiárido paraibano. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 12, n. 4, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2KyGJUo>.

FRAUNHOFER ISE. **Photovoltaics Report**. Freiburg: FRAUNHOFER ISE, 17 nov. 2016. Disponível em: <http://bit.do/fmZM9>. Acesso em: 23 maio 2018.

FU, R. *et al*. **US solar photovoltaic system cost benchmark**: Q1 2017. Golden: NREL, Sept. 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2Xuqqx9>.

GHISI, E. *et al*. Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 204-210, 2006.

GRE – GREEN RHINO ENERGY. **The PV Value Chain**. [sl.l]: GRE, 2016a. Disponível em: <https://bit.ly/35eqe7S>.

_____. **The solar power market**. [sl.l]: GRE, 2016b. Disponível em: <https://bit.ly/2CQD54b>.

HUBACK, V. *et al*. Mudanças climáticas e os impactos sobre o setor de energia elétrica: uma revisão da bibliografia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 10., 2016, Gramado, Rio Grande do Sul. **Anais**... CBPE: Gramado, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2On7Umq>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 261p.

_____. **Cadastro de municípios localizados na região semiárida do Brasil**. [s.l.]: IBGE, 2017. Disponível em: <http://bit.do/fmZMF>.

_____. **Pesquisa mensal de emprego**. [s.l.]: IBGE, maio 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2XpZGhd>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Technology Perspectives 2012**. Paris: Organization for Economic Cooperation & Development, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/2NVc45M>.

IZQUIERDO, S.; RODRIGUES, M.; FUEYO, N. A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations. **Solar Energy**, v. 82, p. 929-939, 2008.

JORDAN, D. C.; KURTZ, S. R. Photovoltaic degradation rates – an analytical review. **NREL – National Renewable Energy Laboratory**. Golden: NREL, jun. 2012. Disponível em: <https://bit.ly/32YF1lI>.

LANGE, W. J. **Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico**. Rio de Janeiro: Terragis, 2012.

MCCALL, D. **SAM International Case Studies**: DPV Analysis in Mexico. Golden: NREL, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2XoCYGg>.

MDS – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL. **Portal do Bolsa Família**. [s.l.]: MDS, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2NZketY>.

MITIDIERI, M. **Análise do potencial de geração distribuída de energia solar fotovoltaica nos setores bancário, de educação básica e postos de gasolina**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2QuWnUM>.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Nova delimitação da região semiárida**. Brasília: MMA, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/32YT4Yg>.

_____. **Discussões para implementação da NDC do Brasil**. Brasília: MMA, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2r7LmOh>.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Carga e geração**. [s.l.]: ONS, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/33YnThp>.

PEREZ-MARTIN, A. M. *et al*. Núcleos de desertificação do semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, v. 17, n. 34, p. 87-106, 2013.

PHILIBERT, C. **The present and future use of solar thermal energy as a primary source of energy**. Paris: IEA, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/35iaG3b>.

PROCEL – PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil**. 2005. Disponível em: <https://bit.ly/2NWIyN2>.

RATHMANN, R. (Org.). **Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de edificações**. MCTIC: Brasília, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/33WRojq>.

RIBEIRO, T. R.; MARTORANO, M. A.; FERREIRA, J. B. Remoção de carbono contido no silício metálico por decantação de carbonetos para produção de silício grau solar. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v. 10, n. 4, p. 303-310, 2013.

ROSA, A.; GASPARIN, F. Panorama da energia fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2017.

SEBRAE – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Brasília: Sebrae, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/35faXny>.

SILVA, I. R. **Implantação do curso de energia solar no Senai de Pernambuco**. 2006. Monografia (Pós-graduação) – Universidade Federal de Lavras, Minas gerais, 2006. Disponível em: <http://bit.do/fm2iA>

SIMIONI, T. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/33ZEwJw>.

SMA – SOLAR TECHNOLOGY AG. **Performance ratio** – quality factor for the PV plant. [s.l.]: SMA, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/2KvYVhs>. Acesso em: 23 mai. 2018.

SPE – SOLAR POWER EUROPE. **Global market outlook 2017-2021**: solar bloom continues. [s.l.]: [s.n.], 2018. Disponível em: <https://bit.ly/35auJ3t>

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do semiárido**. Recife: Sudene, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/37eilkK>.

TOLMASQUIM, M. T. *et al*. **Energia renovável**: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/35if69Z>. Acesso em: 23 maio 2018.

VENTURA, A.; ANDRADE, J. Policultura no semiárido. **Fact Reports**, Issue 3, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/2QuBNUl>.

WWF – WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **Desafios e oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil**: recomendações para políticas públicas. Brasília: WWF, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/35cTtrJ>.

XIA, Y. **The role and incentives of Chinese local governments in solar PV over investment**. 2013. Thesis (Master of Arts) – University of Texas, Austin, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/35jRfqN>.

### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Bandeiras Tarifárias. **Aneel.gov.br**, 24 nov. 2015. Disponível em: <https://bit.ly/2KxeKEI>.

_____. **Inserção da Geração**, 2018. Disponível em: <http://bit.do/fmZQT>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Snapshot of Global Photovoltaic Markets**. 2016. Disponível em: <https://bit.ly/35i3Lad>.

MIRANDA, M. M. **Fator de emissão de gases de efeito estufa na geração de energia elétrica no Brasil**: implicações da aplicação da avaliação do ciclo de vida. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de Energia 2050**. p. 167. Rio de Janeiro: MME; EPE, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2CR51F7>. Acesso em: 5 de agosto de 2016.

SILVA, G.; SEVERO, T. Potencial/aproveitamento de energia solar e eólica no semiárido nordestino: um estudo de caso em Juazeiro-BA nos anos de 2000 a 2009. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 586-599, 2012.

VAN SARK, W. *et al*. **Review of PV performance ratio development**. Denver: World Renewable Energy Congress, 2012.

**Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**

**EDITORIAL**

**Coordenação**
Reginaldo da Silva Domingos

**Assistente de Coordenação**
Rafael Augusto Ferreira Cardoso

**Supervisão**
Camilla de Miranda Mariath Gomes
Everson da Silva Moura

**Revisão**
Ana Clara Escórcio Xavier
Clícia Silveira Rodrigues
Idalina Barbara de Castro
Luiz Gustavo Campos de Araújo Souza
Olavo Mesquita de Carvalho
Regina Marta de Aguiar
Alice Souza Lopes (estagiária)
Amanda Ramos Marques (estagiária)
Ana Luíza Araújo Aguiar (estagiária)
Hellen Pereira de Oliveira Fonseca (estagiária)
Ingrid Verena Sampaio Cerqueira Sodré (estagiária)
Isabella Silva Queiroz da Cunha (estagiária)
Lauane Campos Souza (estagiária)

**Editoração**
Aeromilson Trajano de Mesquita
Bernar José Vieira
Cristiano Ferreira de Araújo
Danilo Leite de Macedo Tavares
Herllyson da Silva Souza
Jeovah Herculano Szervinsk Junior
Leonardo Hideki Higa

**Capa**
Danielle de Oliveira Ayres
Flaviane Dias de Sant'ana

**Projeto Gráfico**
Renato Rodrigues Bueno

*The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.*

**Livraria Ipea**
SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES, Térreo
70076-900 – Brasília – DF
Tel.: (61) 2026-5336
Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Composto em adobe garamond pro 12/16 (texto)
Frutiger 67 bold condensed (títulos, gráficos e tabelas)
Brasília-DF

Logotipo/slogan de governo removido em observancia ao disposto no art. 40 da Lei n 9.504/1997

**Missão do Ipea**
Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DA
**ECONOMIA**

ISSN 1415-4765