

Área: Sustentabilidade | Tema: Sustentabilidade e Políticas Públicas

PERSPECTIVAS DE INSERÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

PERSPECTIVES OF THE PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION INSERTION IN BRAZIL

Alexandre Barin e Jeanine Signor

RESUMO

Ainda que predominantemente baseada em fontes renováveis de energia, a matriz elétrica brasileira apresenta inúmeros aspectos negativos relacionados à implantação de grandes projetos centralizados, o que torna imprescindível a busca por uma maior participação da geração distribuída de energia para o atendimento da demanda nacional. Frente a isso, buscou-se destacar os principais benefícios e limitações concernentes à aplicação do recurso solar na micro e minigeração distribuída fotovoltaica. Concomitantemente, objetivou-se analisar as mais significativas determinantes do processo de inserção de tecnologias fotovoltaicas no país. Dos resultados obtidos, diz-se que não há, hoje, estímulos suficientemente abrangentes para o desenvolvimento nacional de “prosumidores” (do inglês prosumers - Producers and Consumers), a instalação de painéis fotovoltaicos ainda é dispendiosa e a concessão de créditos limitada. Deste modo, tornam-se necessárias políticas de incentivo que viabilizem a consolidação de um mercado de crédito mais competitivo e propício à disseminação da geração distribuída.

Palavras-Chave: Geração Distribuída. Energia Fotovoltaica. Prosumidores. Políticas de Incentivo

ABSTRACT

Despite being predominantly based on renewable energies, the Brazilian electric matrix has many negative aspects related to the implementation of large centralized projects, which makes it essentially important to seek a greater participation of the energy distributed generation to meet the national demand. In this context, it was sought to highlight the main benefits and limitations concerning the application of the solar resource into distributed photovoltaic micro and minigeration. At the same time, it was aimed to analyze the most significant determinants of the photovoltaics insertion process in the country. From the results obtained, it is said that nowadays there are no satisfactory incentives for the national development of prosumers, the installation of photovoltaic panels is still expensive and the credits grant is limited. In this way, incentive policies are necessary to enable the consolidation of a more competitive credit market that would lead to the dissemination of distributed generation.

Keywords: Distributed Generation. Photovoltaics. Prosumers. Incentive Policies.

Eixo Temático: Sustentabilidade

PERSPECTIVAS DE INSERÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

PERSPECTIVES OF THE PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION INSERTION IN BRAZIL

RESUMO

Ainda que predominantemente baseada em fontes renováveis de energia, a matriz elétrica brasileira apresenta inúmeros aspectos negativos relacionados à implantação de grandes projetos centralizados, o que torna imprescindível a busca por uma maior participação da geração distribuída de energia para o atendimento da demanda nacional. Frente a isso, buscou-se destacar os principais benefícios e limitações concernentes à aplicação do recurso solar na micro e minigeração distribuída fotovoltaica. Concomitantemente, objetivou-se analisar as mais significativas determinantes do processo de inserção de tecnologias fotovoltaicas no país. Dos resultados obtidos, diz-se que não há, hoje, estímulos suficientemente abrangentes para o desenvolvimento nacional de “prosumidores” (do inglês *prosumers – Producers and Consumers*), a instalação de painéis fotovoltaicos ainda é dispendiosa e a concessão de créditos limitada. Deste modo, tornam-se necessárias políticas de incentivo que viabilizem a consolidação de um mercado de crédito mais competitivo e propício à disseminação da geração distribuída.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Energia Fotovoltaica. Prosumidores. Políticas de Incentivo.

ABSTRACT

Despite being predominantly based on renewable energies, the Brazilian electric matrix has many negative aspects related to the implementation of large centralized projects, which makes it essentially important to seek a greater participation of the energy distributed generation to meet the national demand. In this context, it was sought to highlight the main benefits and limitations concerning the application of the solar resource into distributed photovoltaic micro and minigeration. At the same time, it was aimed to analyze the most significant determinants of the photovoltaics insertion process in the country. From the results obtained, it is said that nowadays there are no satisfactory incentives for the national development of prosumers, the installation of photovoltaic panels is still expensive and the credits grant is limited. In this way, incentive policies are necessary to enable the consolidation of a more competitive credit market that would lead to the dissemination of distributed generation.

Keywords: Distributed Generation. Photovoltaics. Prosumers. Incentive Policies.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de sua história, o sistema elétrico brasileiro tem sido caracterizado pela implantação de grandes centrais geradoras de eletricidade, conectadas a complexas redes de transmissão e distribuição de energia. A geração convencional, particularmente quando associada à produção de hidroeletricidade, é responsável por aproximadamente 80% do total anual produzido no país atualmente (QUEIROZ, 2016).

A despeito de sua preeminente fundamentação em fontes renováveis de energia, a matriz elétrica nacional é responsável por inúmeros impactos negativos relacionados à implantação de grandes projetos centralizados, haja vista que a contínua expansão destes sistemas encontra-se relacionada à ocorrência de diversos problemas sociais e ambientais (EPE, 2016).

Frente a isso, julga-se relevante incentivar a diversificação da matriz energética nacional, a dar-se pela utilização de fontes renováveis de energia em projetos de menor escala. A disseminação de sistemas como os de geração distribuída fotovoltaica implicariam em poucos impactos socioambientais quando comparados a outras fontes de energia. Dentre outros benefícios, possibilitariam ainda uma maior autonomia por parte do consumidor, o qual passaria a atuar como “prosumidor” (do inglês *prosumer - Producer and Consumer*).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar as principais vantagens e desvantagens associadas à implantação de sistemas para geração distribuída fotovoltaica de energia, bem como avaliar as mais significativas determinantes do processo de inserção de tecnologias fotovoltaicas na matriz elétrica nacional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar os mais importantes benefícios provenientes do emprego de sistemas para geração distribuída fotovoltaica de energia no Brasil.
- Analisar os mais relevantes problemas e/ou desvantagens associados ao processo produtivo, de utilização e descarte de painéis fotovoltaicos.
- Revisar as principais regulamentações existentes no Brasil e que determinam as características individuais de seu mercado energético, bem como incentivam ou desfavorecem o processo de transição de sua matriz energética.
- Avaliar as determinantes que aceleram e/ou retardam o processo de disseminação de tecnologias fotovoltaicas no Brasil e compará-las às de países com elevado desenvolvimento no setor solar, como a Alemanha.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída caracteriza-se pela geração de pequeno porte nas proximidades dos centros consumidores de eletricidade, e é normalmente realizada a partir de fontes renováveis de energia (ANEEL, 2016).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL),

Este processo pode gerar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2016).

Com a criação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica realizada pela ANEEL em 17 de abril de 2012, tornou-se possível para o consumidor brasileiro “gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade” (ANEEL, 2016).

No Brasil, este processo tem por base a utilização do conceito de *net-metering*, em que o consumidor-gerador, recebe créditos energéticos (em kWh) pelo excedente produzido e escoado para dentro da rede das concessionárias. Através deste sistema de compensação de energia, sempre que houver saldo positivo, o consumidor-gerador receberá seus créditos na fatura seguinte e terá até 5 anos para utilizá-lo. Não obstante, deve-se ressaltar que o montante excedente da energia gerada não poderá ser comercializado pelo mesmo (FGV, 2016).

3.2 MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A micro e a minigeração distribuída têm por base a produção de eletricidade advinda do aproveitamento energético de fontes renováveis de energia por pequenas centrais geradoras. Enquanto a microgeração distribuída é caracterizada por centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada inferior ou igual a 75 quilowatts (kW), a Minigeração distribuída refere-se àquelas com potência instalada superior a 75 kW e inferior ou igual a 5 MW (ANEEL, 2016).

Neste contexto, dá-se destaque ao conceito de *prosumer* (Produtor e Consumidor de Energia), em que o consumidor torna-se também responsável pela produção de parte ou da totalidade de sua própria energia elétrica através da utilização de sistemas de microgeração distribuída fotovoltaica. Ao se adotar a ideia de *prosumer*, o consumidor-gerador passa a ter consciência sobre o real valor de seu consumo, o que pode auxiliá-lo na percepção da necessidade de uma administração mais racional do recurso energético, gerando benefícios não somente a ele, mas também à distribuidora de energia e ao meio ambiente como um todo.

3.3 MECANISMOS REGULATÓRIOS DE INCENTIVOS

Os principais incentivos criados para o desenvolvimento da geração distribuída encontram-se associados a políticas de estímulo a fontes renováveis de energia e, levando-se em conta as experiências internacionais na adoção destes incentivos, devem-se destacar alguns mecanismos regulatórios como a Tarifa Prêmio (*Feed-in-Tariff*), o Sistema de Compensação de Energia (*Net-Metering*) e os Certificados de Energia (FGV, 2016).

De acordo com o primeiro destes mecanismos, toda a energia gerada e injetada na rede passa a ser remunerada por intermédio de uma tarifa prêmio, idealizada para atender um período de vinte ou mais anos (NASCIMENTO, 2017).

Apesar de oferecer o melhor retorno para os investidores, este sistema acarreta um acréscimo dos níveis tarifários para os consumidores que tendem a arcar com o aumento da tarifa de energia ocasionada pela conseqüente adição de encargos e impostos (CRUZ, 2015).

Já o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, regulamentado no Brasil através da Resolução Normativa nº 482 de 2012, permite que a energia excedente produzida pela unidade geradora e consumidora de energia, que trabalha com micro ou minigeração distribuída, seja injetada na rede de distribuição das concessionárias. Em concordância com este processo, o total escoado para dentro da rede poderá ser convertido em créditos

energéticos a serem utilizados pelo consumidor no abate de suas próximas faturas (ANEEL, 2016).

De acordo com a revisão da Resolução Normativa nº 482/2012, vigente desde 1º de março de 2016, existem quatro diferentes formas de adesão ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica, as quais diferenciam-se entre uso no local, autoconsumo remoto, empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada (FGV, 2016).

As configurações concernentes à prática do uso no local e ao autoconsumo remoto correspondem, respectivamente, “à geração de energia elétrica na mesma unidade consumidora onde os créditos serão utilizados para abater o consumo e na utilização de créditos excedentes de uma determinada unidade consumidora em outra instalação do mesmo titular” (FGV, 2016).

Já, a participação de empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras dá-se pela instalação de micro ou minigeração em condomínios, nos quais a divisão de créditos deve efetuar-se em concordância com porcentagens previamente definidas por seus integrantes (FGV, 2016).

Ressalta-se, por fim, a possibilidade de adesão à geração compartilhada, esquema no qual a micro ou minigeração distribuída será vinculada a consórcios ou cooperativas, compostos por grupos de consumidores de uma determinada área de concessão, e aos quais confere a repartição de créditos energéticos (FGV, 2016).

Embora não seja o mecanismo mais atrativo e comumente utilizado, o sistema de *net-metering* foi escolhido no Brasil por apresentar um processo de implantação vantajoso, ao passo em que depende apenas e exclusivamente de avaliação da ANEEL, não envolve circulação de moeda e caracteriza-se por ser o menos oneroso para os demais consumidores (CRUZ, 2015).

Finalmente, citam-se os Certificados de Energia, instrumentos regulatórios adotados por países em que ocorre intensa participação da geração distribuída, e os quais apresentam mercado próprio para a comercialização destes títulos (CRUZ, 2015).

A fim de incentivar a geração distribuída no Brasil, o Governo Federal realizou a desoneração do Programa de Integração Social e do Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP), bem como da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) sobre este tipo de empreendimento. Já, no que tange ao Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) estaduais, pode-se citar a isenção de pagamento tributário concedida pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) e adotada por alguns estados da federação, a qual é realizada sobre a energia compensada, ou seja, aquela resultante da diferença entre a energia proveniente da geração distribuída e a energia consumida da rede (FGV, 2016).

Outros incentivos criados à promoção da GD no Brasil foram o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída (ProGD), o acesso a novas oportunidades de financiamento, os estímulos ao crescimento da indústria nacional de tecnologias solares, bem como a ampliação da oferta de cursos profissionalizantes e/ou de capacitação de pessoas (FGV, 2016).

Neste contexto, podem-se citar as linhas de financiamento disponibilizadas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para pessoas jurídicas, bem como as linhas de crédito oferecidas pela Caixa Econômica Federal e pelo Banco do Brasil às pessoas físicas no que tange a melhorias residenciais e, em adição, à aquisição de sistemas de energia solar fotovoltaica (FGV, 2016).

Além destes, ressalta-se o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC), idealizado com o intuito de prestar suporte a projetos que contribuam para com a mitigação das mudanças climáticas. Do mesmo modo, evidencia-se a criação da chamada Inova Energia,

iniciativa responsável por prestar apoio ao desenvolvimento e domínio tecnológico de empresas brasileiras do setor de energias renováveis (NASCIMENTO, 2017).

Em adição a estes mecanismos de incentivo, foram criadas a Lei da Informática, à qual se devem as isenções tributárias sobre equipamentos de informática e automação idealizados para o suprimento do mercado nacional de tecnologias solares. Além disso, devem-se destacar os Leilões de compra de energia elétrica, nos quais ocorre a contratação de fonte solar para posterior aplicação em grades projetos centralizados (NASCIMENTO, 2017).

Ressalta-se, por fim, a existência do IPTU Verde e do Selo Solar. O primeiro destes, relativo ao Imposto Predial e Territorial Urbano, responsabiliza-se por incentivar a redução do imposto municipal sobre imóveis que adotem medidas contributivas de preservação ambiental, como aquelas relacionadas à instalação de sistemas residenciais para a geração de energia eólica e/ou solar (FGV, 2016).

O Selo Solar, por sua vez, apresenta-se como uma certificação disponibilizada aos proprietários de residências, empresas, instituições públicas e/ou privadas cujo consumo de energia elétrica seja advindo única e exclusivamente de fonte solar, a um montante equivalente a 50% ou mais de sua demanda anual. Deve-se destacar, no entanto, que a obtenção deste certificado dá-se sob o viés de marketing ambiental, não podendo o mesmo ser comercializado (FGV, 2016).

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica, a qual teve por base a consulta de livros e artigos científicos de mesma abordagem temática, de forma a viabilizar a compreensão e análise dos principais determinantes envolvidos na inserção de sistemas para geração distribuída fotovoltaica no Brasil.

A fim de se expandir a coleta de dados para a inclusão de trabalhos científicos publicados em idioma estrangeiro, foram abordadas palavras-chave específicas como “*Distributed Generation*”, “*Photovoltaic Energy*”, “*Photovoltaic Distributed Generation*” e “*Prosumers*”, a serem utilizadas em mecanismos de busca como o *Science Direct*, a *Scientific Electronic Library Online (SciELO)* e o Google Acadêmico.

No que concerne ao intervalo de tempo adotado durante o levantamento de dados, pode-se dizer que foram priorizados artigos publicados entre os anos de 2013 e 2017, de forma a evitar a coleta de materiais defasados e obterem-se informações atualizadas acerca do tema proposto.

5 RESULTADOS

5.1 AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NOS CENÁRIOS NACIONAL E INTERNACIONAL

5.1.1 Cenário nacional

O Brasil encontra-se localizado em uma região com elevados índices de irradiação solar, em virtude de uma incidência mais vertical dos raios solares sobre quase toda a sua extensão territorial. Pode-se dizer, ainda, que devido à sua proximidade à linha do equador, o mesmo não sofre com grandes variações dos níveis de incidência solar no decorrer do ano, e isso faz com que tenhamos bons índices de irradiação até mesmo durante os meses mais frios. Todas estas condições representam consideráveis vantagens para o aproveitamento solar a nível nacional (EPE, 2016).

De acordo com Nascimento (2017), vale-se ressaltar, ainda, que a incidência de irradiação solar em qualquer das unidades federativas nacionais (1500-2500 Wh/m²) apresenta valores que ultrapassam os índices de países europeus em que a prática do aproveitamento solar encontra-se largamente disseminada, como é o caso da Alemanha (900-1250 Wh/m²), da França (900-1650 Wh/m²) e da Espanha (1200-1850 Wh/m²).

A região Nordeste, em conjunto com os estados de Goiás, Minas Gerais e Tocantins, apresenta o maior potencial nacional para a produção de energia solar. Já, no que tange à geração distribuída fotovoltaica, ressalta-se a proporcionalidade verificada entre o potencial produtivo de uma região altamente povoada e a quantidade de residências encontradas nesta localidade em questão (NASCIMENTO, 2017).

Ainda de acordo com Nascimento (2017), evidencia-se a existência de um considerável número de incentivos nacionais desenvolvidos no intuito de promover o mercado da geração centralizada e/ou distribuída de energia solar. Dentre os mecanismos anteriormente citados, no entanto, deve-se destacar o sistema de *Net-Metering* para geração distribuída de energia, bem como a realização dos leilões de contratação.

Nos últimos anos, a geração solar fotovoltaica tem ganhado destaque no país devido à regulamentação da geração distribuída fotovoltaica conectada à rede elétrica através do sistema de *Net-Metering*, o qual permite que o excedente de eletricidade gerado e injetado na rede das concessionárias seja utilizado para compensar o consumo de energia elétrica proveniente da distribuidora, reduzindo a fatura dos meses subsequentes (EPE, 2016).

Além disso, deve-se destacar a realização de leilões para a contratação desta fonte energética e sua aplicação na implantação de projetos centralizados. Associando-se a contratação de longo prazo ao sistema de leilões, viabiliza-se o financiamento de projetos e leva-se, conseqüentemente, à redução de custos. Deste modo, acredita-se que, em conjunto com políticas de incentivo, os preços tornem-se competitivos e tragam segurança para o desenvolvimento da indústria fotovoltaica no país (EPE, 2016).

A despeito do vasto potencial brasileiro atribuído aos níveis de radiação solar superiores aos de líderes mundiais em capacidade instalada de geração distribuída, e apesar de as tarifas brasileiras de energia elétrica se encontrarem em patamares semelhantes aos destes países, verifica-se que o sistema de *net-metering* empregado no Brasil não oferece a mesma atratividade econômica proporcionada por outros mecanismos de incentivo amplamente utilizados em outros países, como o *feed-in tariff*. Frente a este cenário, torna-se possível compreender a autonomia conferida à inserção da geração distribuída de energia no Brasil, a qual sujeita-se à capacidade da própria fonte de viabilizar-se economicamente e que, conseqüentemente, impõe prazos mais extensos para a popularização dos sistemas de micro e minigeração distribuída de energia (CRUZ, 2015).

Em adição a isso, deve-se mencionar o desafio associado à adoção de fontes complementares e intermitentes de energia, como a solar, e destacar as limitações impostas à sua disseminação pela insuficiência no desenvolvimento de tecnologias de armazenamento, as quais tornariam possível aproveitar os períodos de geração excedente para armazenar energia e utilizá-la em momentos de escassez (FGV, 2016).

O avanço no desenvolvimento de tecnologias de armazenamento eletroquímico, no entanto, tem indicado potencial de crescimento para o setor. A atratividade das baterias encontra-se na proximidade ao consumidor, nos benefícios gerados em curto prazo e na possibilidade de implantação em áreas remotas e/ou não atendidas pela rede. Do mesmo modo, as baterias são atraentes à diversificação do uso energético, podendo ser adotadas na geração distribuída para o abastecimento residencial e de veículos elétricos (FGV, 2016).

Mundialmente, a evolução dos veículos elétricos proporciona estímulos adicionais ao desenvolvimento de baterias e à adoção de sistemas para geração distribuída. Isso se deve às perspectivas de que, em um horizonte temporal mais amplo, os carros elétricos possam ser

conectados à rede de uma residência por intermédio do sistema *vehicle-to-grid*. De acordo com este mecanismo, as baterias dos veículos elétricos funcionariam como alternativa de armazenamento descentralizado para fontes intermitentes de energia, como a solar. Além disso, este sistema viabilizaria a criação de um instrumento de gerenciamento de demanda, a dar-se pela utilização da energia armazenada na bateria dos automóveis para o suprimento das demandas residenciais e a conseqüente contribuição para com a estabilização da rede elétrica em horários de pico. Para tanto, torna-se necessário, ainda, o avanço das redes elétricas inteligentes (*smart grids*), às quais confere o uso de tecnologias digitais e/ou avançadas de monitoramento e gerenciamento do transporte da eletricidade produzida a partir de diferentes fontes de energia (FGV, 2016).

5.1.2 Cenário internacional

Segundo dados disponibilizados pela Agência Internacional de Energias Renováveis (*International Renewable Energy Agency - IRENA*), a energia solar fotovoltaica representou aproximadamente 20% de toda a capacidade instalada no mundo em 2015. Neste mesmo período, foi responsável por cerca de 30% de toda a energia renovável produzida, bem como por 50% de todos os investimentos globais aplicados no setor. Acredita-se, ainda, que a geração solar fotovoltaica tenha contribuído para com a criação de 2,8 milhões de empregos em todo o mundo no ano de 2015 (IRENA, 2017b).

Estima-se que a capacidade instalada atinja 1.760 GW em 2030, fazendo com que a geração solar fotovoltaica passe a representar quase 7% da produção global de eletricidade ao final deste período. Para tanto, exige-se um crescimento médio anual de 15% (IRENA, 2017b).

Ainda de acordo com IRENA, “a produção e o uso de energia representam mais de dois terços de todas as emissões antropogênicas de gases do efeito estufa, principalmente sob a forma de CO₂”, o que representa um correspondente acréscimo da liberação destes gases na atmosfera em virtude do aumento da demanda energética mundial (IRENA, 2017a).

Perante o estabelecido no Acordo de Paris, vigente desde novembro de 2016, a transição energética é fator importante para garantir que o aumento da temperatura média global não ultrapasse os 2 Graus Celsius (°C). Além disso, de acordo com IRENA, o fornecimento sustentável de energia “é fundamental para a atividade econômica, o desenvolvimento social e a redução da pobreza, a fim de proporcionar a todas as pessoas o acesso a serviços energéticos modernos” (IRENA, 2017a).

De modo geral, o atual modelo econômico não estimula o uso sustentável dos recursos naturais, tornando necessário o incentivo a mudanças no setor de energia elétrica. Frente a isso, a Agência Internacional de Energias Renováveis afirma que

a energia renovável surgiu como uma parte crítica de qualquer solução global para enfrentar a ameaça das mudanças climáticas. Para acelerar a transição de energia necessária, os países terão de se envolver em análises detalhadas do seu potencial técnico para o desenvolvimento de energias renováveis (IRENA, 2016a).

Estima-se que a energia renovável deverá ser responsável pelo fornecimento de aproximadamente dois terços da geração total em 2050. Para tanto, a mesma deverá atingir um limiar de participação que corresponde a um valor sete vezes superior aos atuais resultados e que apenas será alcançado através de políticas que garantam o investimento em tecnologias com baixa emissão de carbono e a conseqüente reforma do mercado energético (IRENA, 2017a).

De acordo com projeções realizadas pela IRENA, duplicando-se o total mundial de energia renovável consumida até o ano de 2030, a geração fotovoltaica passará a apresentar os maiores índices anuais de crescimento em capacidade instalada e geração (IRENA, 2017b).

A política energética alemã tem ampla influência mundial, sendo líder no desenvolvimento de programas para incentivo do uso de energias renováveis. A chamada EGG (*Erneuerbare-Energien-Gesetz*) apresenta como princípio fundamental a obrigatoriedade de que os operadores da rede priorizem a eletricidade advinda de fontes de energia renováveis e paguem-na de acordo com tarifas fixas (*Feed-in Tariff*), caracterizadas como o instrumento mais efetivo para a promoção da geração de eletricidade por meio de fontes renováveis de energia em toda a Europa (BMU, 2007).

A EEG garante ao consumidor-gerador o pagamento de uma tarifa fixa para o excedente de eletricidade gerada a partir de fontes renováveis de energia que é escoada para dentro da rede elétrica pública. O valor a ser pago obrigatoriamente pelos operadores da rede varia de acordo com a tecnologia utilizada, o ano em que o sistema foi implantado bem como o tamanho do mesmo (BMU, 2007).

Além disso, a EEG oferece um bônus para recursos renováveis, classificado de acordo com a fonte de energia utilizada, a tecnologia adotada e a eficiência energética alcançada pelo sistema. De modo geral, este bônus é equivalente a 6.0 centavos de euro/kWh e só é válido para instalações de até 150 kW. De acordo com este regulamento, a eletricidade proveniente de fontes solares e/ou eólicas recebe uma remuneração de 90% para instalações inferiores a 5 MW, podendo, no entanto, variar em função da tecnologia e do tamanho da planta (BMU, 2007).

Ainda de acordo com o Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear, com acesso garantido à rede e taxas fixas, a EEG levou à autonomia do investimento ao possibilitar a entrada de operadores independentes do setor de fornecimento de energia elétrica, ao passo em que se tornou desnecessária a permissão por parte dos provedores de energia para se ter acesso à rede, o que acabou por estimular a disseminação da energia renovável entre a população (BMU, 2007).

O EEG tem sido seguido por aproximadamente 30 países do mundo como modelo para implantação de regulamentações similares, tornando-se um efetivo instrumento de expansão dos investimentos do mercado energético atual em energia renovável, o que tem reduzido drasticamente os custos de produção nos últimos anos (WIRTH, 2015).

O EEG tem tido grandiosa representatividade no combate às emissões atmosféricas de CO₂, o que se deve à criação do maior mercado de tecnologias fotovoltaicas da atualidade, acelerando a expansão do setor com o desenvolvimento de novas tecnologias e redução de custos. Como resultado destes investimentos, a geração fotovoltaica mundial tem sido responsabilizada pela redução do uso de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica. Além disso, graças ao EGG, países em desenvolvimento também têm tido acesso a tecnologias fotovoltaicas de maneira mais rápida e fácil (WIRTH, 2015).

5.2 PRINCIPAIS VANTAGENS E DESVANTAGENS ASSOCIADAS À UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

5.2.1 Vantagens

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, a geração solar fotovoltaica tem por base uma fonte de energia limpa e renovável que favorece o processo de mitigação das mudanças climáticas, por tratar-se de sistemas que não emitem poluentes e/ou gases de efeito estufa durante o seu funcionamento, gerando benefícios ao meio ambiente como um todo (EPE, 2016).

Além disso, a composição de painéis solares que têm por base a utilização de *wafers* de silício dá-se basicamente pela presença de silício, alumínio e prata, matérias-primas sem grande risco de se tornarem limitadas ou indisponíveis em um futuro próximo. O silício, por exemplo, representa 26% da crosta terrestre, sendo considerado uma fonte praticamente inesgotável de matéria-prima. O alumínio também pode ser encontrado em grandes quantidades, e a prata, a qual apresenta maiores problemas de disponibilidade, passará a ser utilizada de maneira mais eficiente até que seja substituída por diferentes elementos como o cobre (WIRTH, 2015).

Vale ressaltar que o Silício Cristalino em Grau Solar (SiGS), utilizado para a fabricação das células fotovoltaicas, apresenta uma pureza superior a 99,999%, e é obtido purificando-se o Silício em Grau Metalúrgico (SiGM), cujo grau de pureza encontra-se compreendido entre 98% e 99%. Levando-se em conta que o silício em grau solar apresenta um valor aproximadamente 10 vezes superior ao do silício em grau metalúrgico, o Brasil tem investido no seu processo de purificação. Neste contexto, foi possível o desenvolvimento em laboratório do chamado Silício em Grau Metalúrgico Melhorado (SiGMM), o qual apresenta uma pureza de 99,999% e caracteriza-se como sendo suficientemente puro para a aplicação em células fotovoltaicas nacionais (EPE, 2016).

Além da eficiência das células fotovoltaicas produzidas, a iniciativa brasileira deve atentar aos custos relativos à produção em escala industrial, dada a possibilidade de queda dos custos e a entrada de novas indústrias com preços de produção reduzidos (CARVALHO et al., 2014). Como mencionado anteriormente, no entanto, o processo de purificação do silício a grau solar tem sido realizado única e exclusivamente a nível laboratorial, e o desenvolvimento deste setor tem sofrido ainda mais interferências em função da atratividade conferida ao mercado asiático e sua produção a custos reduzidos (CRUZ, 2015).

Atualmente, a Alemanha, os Estados Unidos, a China e a Coreia do Sul respondem por aproximadamente 60% da produção mundial de silício cristalino. Isso se deve ao investimento de aproximadamente US\$ 2 bilhões necessários à implantação de um projeto com potencial para a geração de 10 mil toneladas/ano de silício cristalino, bem como pelo fato de o processo de purificação ser de domínio de poucos países, o que inviabiliza a participação de novos investidores (IEA, 2015).

Já, na etapa de produção dos módulos existe maior possibilidade de inserção nacional. Em 2014, por exemplo, cerca de 80% desta produção foi proveniente da China e de Taiwan (IEA, 2015). Deve-se ressaltar que, em função do baixo conhecimento técnico necessário para esta fase do processo produtivo, assim como pela redução dos custos relativos à aquisição de equipamentos industriais para as novas plantas, a fabricação de módulos tem representado a oportunidade de abertura e estabelecimento da indústria nacional fotovoltaica. Por intermédio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), os novos investidores têm tido acesso à possibilidade de financiamento, o que têm dado estímulo à nacionalização de tecnologias fotovoltaicas, ao passo em que são efetuadas as etapas de montagem dos módulos e fabricação das molduras em território nacional (EPE, 2016).

Ainda de acordo com os benefícios relativos à utilização de tecnologias solares, podem-se mencionar as vantagens associadas à redução das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera. De acordo com estimativas realizadas pela IRENA, a geração solar fotovoltaica tornou-se responsável pela redução das emissões globais de CO₂ em um montante que varia entre 200 e 300 milhões de toneladas por ano (IRENA, 2017b).

Na Alemanha, por exemplo, a geração fotovoltaica vem substituindo a eletricidade advinda de usinas de gás natural e carvão do mercado. Em 2012, o consumo total de energia elétrica proveniente da geração solar fotovoltaica foi equivalente a 28 TWh e levou a uma redução das emissões de gases do efeito estufa na ordem de 18,6 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (WIRTH, 2015).

Outro ponto importante destacado por Wirth (2015) diz respeito ao tempo de retorno energético de um sistema solar, o qual depende da tecnologia utilizada e da localização do mesmo. Em um país como a Alemanha estima-se que este período seja de aproximadamente 2 anos. Considerando-se a vida útil de um sistema, que gira em torno de 20 a 30 anos, pode-se dizer que o mesmo é capaz de produzir ao menos 10 vezes mais energia durante a sua vida útil do que o total de energia gasto durante a sua fabricação.

Já no Brasil, o *payback* energético gira em torno de três anos. Porém, considerando-se que a eletricidade utilizada na fabricação de módulos fotovoltaicos em território nacional é proveniente, em sua maior parte, de fontes renováveis de energia, o nível de emissão de CO² associado à realização deste processo torna-se reduzido (EPE, 2016).

5.2.2 Desvantagens

Em adição à liberação de CO², o processo de fabricação de sistemas fotovoltaicos pode ser responsável pela emissão de outros gases prejudiciais ao meio ambiente, como é o caso do Trifluoride (NF₃). Os problemas relacionados à saída desta substância para a atmosfera, no entanto, restringem-se a algumas específicas tecnologias utilizadas para a produção dos módulos. Além disso, os módulos solares convencionais exigem uma camada frontal de vidro e, para aumentar a transmitância da luz, muitos fabricantes acabam adicionando antimônio (Sb) a este componente do sistema (WIRTH, 2015).

Já, no que tange aos custos iniciais de instalação de sistemas fotovoltaicos para micro e minigeração distribuída no Brasil, nota-se uma significativa disparidade frente aos valores médios adotados por outros países. De modo geral, confere-se aos módulos fotovoltaicos um montante de aproximadamente 50% do valor total investido em instalações de sistemas solares conectados à rede elétrica das distribuidoras (CRUZ, 2015).

Segundo IRENA, dois terços dos painéis fotovoltaicos instalados no mundo em 2015 eram de silício cristalino, caracterizados por apresentar uma massa de aproximadamente 90% vidro, polímero e alumínio, elementos classificados como resíduos não perigosos. Entretanto, cerca de 4% de sua composição caracteriza-se pela presença de elementos como silício e prata, assim como quantidades reduzidas de estanho e chumbo. Já a tecnologia de filme fino, responsável por cerca de 9% da produção mundial anual, é composta de 98% vidro, polímero e alumínio, sendo os 2% restantes formados por elementos potencialmente perigosos como cobre, zinco, índio, gálio, selênio, telureto de cádmio e chumbo (IRENA, 2016b).

Na Alemanha, garante-se que os fabricantes desempenhem suas obrigações de coleta e reciclagem dos resíduos de maneira sustentável, apresentando soluções para todos os tipos de tecnologias fotovoltaicas utilizadas. Para os proprietários dos módulos, é possível ainda o descarte gratuito de módulos fotovoltaicos. Isso se deve à associação PV CYCLE, que desde 2010 tem oferecido soluções para o tratamento de resíduos provenientes do mercado fotovoltaico europeu. Esta entidade virá a se tornar, ainda, a responsável por todas as atividades legais de coleta, reciclagem e tratamento de resíduos relativos ao setor de energia solar alemão (PV CYCLE, 2014).

De acordo com esta organização, torna-se obrigatório que os fabricantes coletem e reciclem pelo menos 85% de seus módulos fotovoltaicos gratuitamente. Em outubro de 2015, a Lei dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, da sigla em inglês WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), entrou em vigor no país e classificou os módulos fotovoltaicos como dispositivos domésticos, estabelecendo a obrigatoriedade de coleta dos mesmos após o fim da vida útil dos sistemas (WIRTH, 2015).

Além de reduzir a quantidade de resíduos gerada, a reciclagem destes materiais reduz a exploração de matéria-prima e o conseqüente gasto energético associado à produção de novos sistemas, uma vez que alguns dos elementos adotados apresentam elevado grau de

impureza e necessitam de tratamentos intensivos para que atinjam os níveis de pureza necessários para a fabricação de novos componentes (IRENA, 2016b).

A classificação dos resíduos provenientes de painéis fotovoltaicos é realizada considerando-se as propriedades particulares de cada material utilizado, necessárias para determinar o grau de periculosidade dos mesmos. A partir deste processo, torna-se possível identificar os principais riscos ambientais associados ao descarte inadequado destes equipamentos, bem como definir medidas para a mitigação destes riscos através da adoção de práticas de reuso, reciclagem e disposição final dos resíduos (IRENA, 2016b).

O gerenciamento destes resíduos respeita o princípio da Responsabilidade Ampliada do Produtor, da sigla em inglês *EPR (Extended Producer Responsibility)*, por meio do qual o fabricante é responsabilizado pelos possíveis impactos ambientais resultantes da destinação final inadequada de seus produtos. Em adição a isso, o mesmo busca incentivar o desenvolvimento de produtos verdes passíveis de utilização em atividades posteriores de reuso e reciclagem de resíduos (IRENA, 2016b).

Este princípio pode ser adotado, ainda, para a criação de fundos destinados a financiar os processos de coleta, tratamento, reciclagem e disposição final ambientalmente adequada dos sistemas. Para tanto, seriam considerados custos adicionais aos valores totais dos produtos, a fim de se cobrirem os gastos relativos ao cumprimento da logística reversa dos equipamentos (IRENA, 2016b).

Segundo levantamentos realizados pelo IRENA, prevê-se uma significativa redução da demanda por matérias-primas utilizadas em tecnologias c-Si e filme fino nos próximos anos, em virtude de melhorias advindas do contínuo desenvolvimento tecnológico do setor solar. Como consequência, espera-se que ocorra uma diminuição da quantidade de materiais raros e/ou perigosos empregados nos processos produtivos, bem como a melhorada reciclabilidade dos equipamentos (IRENA, 2017b).

Em muitos países do mundo, os consumidores que investem no setor solar fotovoltaico tornam-se diretamente responsáveis pela destinação final ambientalmente adequada dos resíduos originados após o fim da vida útil de seus sistemas. Além disso, considerando-se o não envolvimento dos fabricantes neste processo, ocorre desmotivação por parte dos mesmos quanto à necessidade de se produzir equipamentos com base em tecnologias verdes e ideais de sustentabilidade ambiental (IRENA, 2016b).

No Brasil, ainda não existe um histórico de gerenciamento de módulos fotovoltaicos e, por este motivo, a avaliação dos impactos ambientais associados à etapa de descarte destes resíduos tem por base o conhecimento sobre os elementos químicos adotados e seus possíveis danos ao meio ambiente. Tecnologias para reaproveitamento e/ou reciclagem de componentes advindos do processo produtivo e/ou do fim da vida útil dos módulos ainda não estão disponíveis a nível nacional (EPE, 2016).

Deve-se destacar, no entanto, a possibilidade de contratação dos serviços oferecidos pela organização PV CYCLE, também responsável por atuar em países não pertencentes à União Europeia no que tange à oferta de soluções para o gerenciamento de resíduos provenientes de tecnologias solares e/ou dos processos produtivos das mesmas (PV CYCLE, 2017).

6 CONCLUSÃO

Não existem, até o presente momento, incentivos suficientemente abrangentes para o desenvolvimento nacional de *prosumers*, cuja participação no mercado nacional tende a conferir aos consumidores maior autonomia e consciência socioeconômica e ambiental quanto à necessidade de racionalização do consumo. Do mesmo modo, constata-se a insatisfatória

promulgação nos meios de comunicação da possibilidade de adesão à prática da microgeração distribuída fotovoltaica a nível residencial e/ou comercial.

Além disso, a instalação de painéis fotovoltaicos no Brasil é ainda considerada dispendiosa e a concessão de créditos limitada e desintegrada. Deste modo, tornam-se necessárias políticas de incentivo que viabilizem a consolidação de um mercado de crédito mais competitivo e propício à disseminação da geração distribuída.

Neste contexto, considera-se imperativa a reformulação das normas regulatórias e de incentivo às distribuidoras, redefinindo-se o papel dos agentes envolvidos como um todo. Julga-se importante mencionar, também, a possibilidade de concessão de descontos na aquisição de painéis solares fotovoltaicos, bem como a elevação das tarifas de eletricidade.

Ressalta-se, ainda, a importância das tecnologias de armazenamento para a popularização de sistemas para a geração distribuída fotovoltaica de energia. Ao se viabilizarem economicamente, estas tecnologias podem vir a se tornar decisivas à disseminação da geração distribuída ao minimizarem a necessidade de investimentos em infraestruturas de transmissão e distribuição.

Em adição a isso, a difusão do uso de sistemas fotovoltaicos associados a armazenadores residenciais acabaria por impulsionar a comercialização de veículos híbridos e, conseqüentemente, conduziria à redução de gastos com combustíveis fósseis e possibilitaria uma maior autossuficiência por parte do consumidor, implicações, estas, indubitavelmente positivas frente ao elevado e crescente custo da gasolina a nível nacional.

O desenvolvimento da geração distribuída, além de contribuir para com a diversificação do mix energético, alivia a geração centralizada e garante maior segurança ao sistema elétrico. Além disso, as inovações tecnológicas propiciadas pelo avanço do mercado solar fotovoltaico tendem a reduzir os custos das tecnologias comercializadas no país.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Micro e Minigeração Distribuídas. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

BMU. The Renewable Energy Soures Act. Disponível em:

<http://www.folkecenter.net/mediafiles/folkecenter/pdf/eeg_success_brochure_engl.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2017.

BRASIL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

CARVALHO, P. et al. A rota metalúrgica de produção de silício grau solar. Disponível em:

<<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2901/1/A%20rota%20metal%C3%BArgica%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20sil%C3%ADcio%20grau%20solar.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

CRUZ, D. T. Micro e Minigeração Eólica e Solar no Brasil. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-04082015-153708/pt-br.php>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

EPE. Energia Renovável. Disponível em:

<<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2017.

FGV. Recursos Energéticos Distribuídos. Disponível em:

<<http://fgvenergia.fgv.br/publicacao/caderno-de-recursos-energeticos-distribuidos>>. Acesso em: 26 out. 2017.

IEA. Trends 2015 in Photovoltaics Applications. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/national/IEA-PVPS_-_Trends_2015_-_MedRes.pdf>.

Acesso em: 26 out. 2017.

IRENA. End-of-life management: Solar photovoltaic panels. Disponível em:

<<http://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels>>. Acesso em: 08 out. 2017.

IRENA. Investment Opportunities in Latin America. Disponível em:

<http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Atlas_investment_Latin_America_2016.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2017.

IRENA. Perspectives for the energy transition. Disponível em:

<http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Perspectives_for_the_Energy_Transition_2017.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2017.

IRENA. REthinking Energy. Disponível em:

<http://www.wame2015.org/files/catalogue/2017/2/IRENA_REthinking_Energy_2017_1.pdf> Acesso em: 15 ago. 2017.

NASCIMENTO, R. L. Energia Solar No Brasil: Situação e Perspectivas. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/32259>>. Acesso em: 26 out. 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos.

Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

PV CYCLE. Companies interested in waste management as part of their environmental

commitment. Disponível em: <<http://www.pvcycle.org/services/global/>>. Acesso em: 11 out. 2017.

PV CYCLE. Leading take-back and recycling scheme establishes German subsidiary for

WEEE compliance New PV CYCLE entity to take on all business activities in Germany.

Disponível em: <<http://www.pvcyclegroup.it/press/new-pv-cycle-entity-to-take-on-all-business-activities-in-germany/>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

QUEIROZ, A. R. et al. Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116306188?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 out. 2017.

SOUZA, R. Os sistemas de energia solar fotovoltaica. Disponível em: <<http://www.solarcurso.com/wp-content/uploads/2017/05/Livro-Digital-de-Introducao-aos-Sistemas-Solares.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2017.

WIRTH, H. Recent facts about photovoltaics in Germany. Fraunhofer ISE, p. 92, 2015. Disponível em: <<http://pschuetzenduebe.webclient5.de/wp-content/uploads/130912-Recent-Facts-PV-Germany.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2017.